

ESTUDIO Y REPARACIÓN DE LAS HUMEDADES DE CAPILARIDAD DE LA IGLESIA DEL SALVADOR

Trabajo Fin de Grado



Javier Corrochano Rubio

Tutor: Antonio Jaramillo Morilla

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Curso 2017 / 2018

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. MOTIVACIÓN. RELEVANCIA Y OPORTUNIDAD	5
1.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	6
1.3. ESTADO DE LA CUESTIÓN. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA.....	7
 2. DESARROLLO.....	 12
2.1. METODOLOGÍA.....	12
2.2. ÚLTIMA ACTUACIÓN EN LA IGLESIA DEL SALVADOR (2003-2007).....	13
2.3. ESTADO ACTUAL. TOMA DE DATOS Y LEVANTAMIENTO	19
2.4. COMPARACIÓN DEL ESTADO ANTES DE LA ÚLTIMA ACTUACIÓN Y EL ESTADO ACTUAL	28
2.5. SISTEMAS DE DRENAJE PARA REBAJAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO	31
2.6. ELECCIÓN Y CÁLCULO DE DRENAJE.....	39
2.7. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA REPARACIÓN.....	52
 3. CONCLUSIONES	 53
 4. IDEAS PARA AMPLIAR EL TRABAJO DESARROLLADO	 55
 5. BIBLIOGRAFÍA.....	 56
 6. ANEXOS.....	 59
6.1. PLANIMETRÍA.....	
6.2. PRESUPUESTO Y MEDICIONES DE LA REPARACIÓN	

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Superposición de la planta de la mezquita de Addabás con la de la actual Iglesia del Salvador (Mendoza Castells, 2008, p. 78)	9
Ilustración 2. Dibujo de la Torre de la Iglesia del Salvador (Siglos VIII, XIV y XVIII) según P. Fernández de Heredia (Torres Balbás, 1946, p. 430)	9
Ilustración 3. Patología Alzado Principal. Informe Vorsevi 2001	14
Ilustración 4. Patología Alzado Sur. Informe Vorsevi 2001	14
Ilustración 5. Patología Alzado Este. Informe Vorsevi 2001	15
Ilustración 6. Salinidad por Interior. Fachada Principal. Informe Vorsevi 2001	15
Ilustración 7. Curvas de Humedad por Interior. Fachada Principal. Informe Vorsevi 2001	16
Ilustración 8. Aparición de agua en la Cripta. Fernando Mendoza 2003	17
Ilustración 9. Depósito de retención de aguas subterráneas para drenaje y bombeo. Fernando Mendoza 2003.....	17
Ilustración 10. Montaje del sistema de ventilación de la cripta. Fernando Mendoza 2003	18
Ilustración 11. Tanque de Tormenta. Fernando Mendoza 2003	18
Ilustración 12. Levantamiento de Humedades. Fachada Principal. Estado actual.....	26
Ilustración 13. Levantamiento de Humedades. Fachada Sur. Estado actual	27
Ilustración 14. Levantamiento de Humedades. Fachada Principal Interior y Cripta. Estado actual	27
Ilustración 15. Sección. Altura del Nivel Freático. Vorsevi S.A. (arriba) Estado Actual (abajo)	28
Ilustración 16. Alzado Principal. Humedades Vorsevi S.A. (izquierda) y Estado Actual (derecha)	29
Ilustración 17. Alzado Calle Villegas-Cuesta del Rosario. Humedades. Vorsevi S.A. (izquierda) y Estado Actual (derecha)	29
Ilustración 18. Alzado interior. Fachada Principal Humedades. Vorsevi S.A. (arriba) y Estado Actual (abajo)	30
Ilustración 19. Sistema de drenaje mediante tubos de plástico ranurado. J. Calavera 1998	32
Ilustración 20. Drenaje perimetral de sótano. J. Calavera 1998	33
Ilustración 21. Movimiento del agua para alcanzar el dren. J. Calavera 1998	33
Ilustración 22. Esquema de rebajamiento del nivel freático para una zanja incompleta en acuífero libre y régimen estacionario. J. Calatrava 1998.....	33
Ilustración 23. Esquema de rebajamiento del nivel freático con pozos profundos. J. Calavera 1998.....	34

Ilustración 24. Distancia entre pozos según permeabilidad del terreno. Izda. terrenos permeables. Dcha. terrenos poco permeables. Jaramillo Morilla, s.f.....	34
Ilustración 25. Capas que conforman el sistema de pozo profundo. Jaramillo Morilla, s. f.	35
Ilustración 26. Esquema de rebajamiento de nivel freático con lanzas de drenaje. J. Calavera 1998.....	36
Ilustración 27. Hincas de una lanza de drenaje para aplicación en vacío (Según Széchy, 1965. Cortesía de Springer ed.).....	37
Ilustración 28. Esquema de funcionamiento de la cámara de aireación. Lozano Martínez Luengas, Lozano Apolo, & Coz Díaz, 2006 y Ortega Andrade, 1994.....	37
Ilustración 29. Sondeo 1. Vorsevi. S.A.....	39
Ilustración 30. Esquema de Zanja Completa en acuífero libre, en régimen estacionario.	45
Ilustración 31. Esquema de Zanja Incompleta en acuífero libre, en régimen estacionario.	45
Ilustración 32. Esquema de descenso del NF.....	46
Ilustración 33. Fabricante de Tubería de Drenaje.....	48
Ilustración 34. Esquema de funcionamiento del sistema Knapen (Lozano Martínez Luengas, 2006).....	50
Ilustración 35. Colocación de sistema de desecación Knapen. Alzado interior Sur (arriba) y detalle de colocación (abajo).....	51
Ilustración 37. Imágenes del Generador de Precios de Cype sobre alguna de las actuaciones acometidas.....	52

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Exteriores fachada sur. Primera visita (17-02-2018)	19
Fotografía 2. Exteriores fachada principal. Primera visita (17-02-2018)	20
Fotografía 3. Termografía. Exteriores fachada sur. Segunda visita (13-03-2018).....	21
Fotografía 4. Interior Capilla de San Cristóbal. Segunda visita (13-03-2018).....	21
Fotografía 5. Termografía. Exteriores fachada principal. Segunda visita (13-03-2018) ...	22
Fotografía 6. Termografía. Exteriores fachada principal. Segunda visita (13-03-2018) ...	22
Fotografía 7. Interior fachada principal. Segunda visita (13-03-2018)	23
Fotografía 8. Ventilación de la cripta. Segunda visita (13-03-2018)	24
Fotografía 9. Tanque de tormenta y bomba de extracción. Segunda visita (13-03-2018)	24
Fotografía 10. Humedades en muros de la cripta. Segunda visita (13-03-2018).....	25
Fotografía 11. Medición de nivel freático. Segunda Visita (13-03-2018)	25

Fotografía 12. Iglesia de Santa Lucía (arriba izquierda), fachada del Parlamento de Andalucía (arriba derecha), naves de las razas (abajo).....	53
---	----

TABLAS

Tabla 1. Terapéutica curativa para aplicar. Lozano Martínez Luengas, Lozano Apolo, & Coz Díaz, 2006	31
Tabla 2. Clasificación de suelos según Casagrande.....	40
Tabla 3. Determinación de las características del suelo.....	40
Tabla 4. Orden de magnitud del coeficiente de permeabilidad en función del tipo de terreno	41
Tabla 5. Sistema de drenaje en función del tipo de suelo. J. Calavera. 1998.....	42
Tabla 6. Grado de impermeabilidad mínimo exigido a muros de sótano. CTE-DB-HS1.....	42
Tabla 7. Condiciones de las soluciones de impermeabilización de muro.....	43
Tabla 8. Cálculo del Caudal de Drenaje.....	47
Tabla 9. Tabla del fabricante para dimensionado de drenaje.....	49

ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para zanja completa en acuífero libre, en régimen estacionario....	45
Ecuación 2. Fórmula para zanja incompleta en acuífero libre, en régimen estacionario	46
Ecuación 3. Fórmula de Manning para el cálculo de la velocidad en un conducto	47
Ecuación 4. Fórmula para cálculo del caudal de conducto.....	47

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN. RELEVANCIA Y OPORTUNIDAD

La Iglesia del Salvador es uno de los edificios patrimoniales más importantes de Sevilla. En el año 2003, la Iglesia fue objeto de una restauración integral, debido a las diversas lesiones que padecía. El edificio volvió a lucir en perfecto estado tras completarse la restauración. Sin embargo, aparecen patologías derivadas de la presencia del agua en los cerramientos del edificio, provocando múltiples manchas de humedad en las zonas de los muros que se encuentran en contacto con el suelo de todo el perímetro de la Iglesia, que a su vez tienen como consecuencia la aparición de eflorescencias y desprendimiento de material, entre otras lesiones.

El problema del agua en los edificios patrimoniales es de gran relevancia. Son edificios cuya construcción suele estar basada en materiales porosos, como el ladrillo y la piedra. Cuando estos elementos aparecen en las cimentaciones, aumenta el riesgo de que el agua del terreno ascienda por los mismos hasta los muros, debido al fenómeno de la capilaridad. Debido a esto, la investigación de las causas de la aparición de las humedades y su reparación adquieren importancia, debido a que afecta a un gran número de edificios antiguos de gran valor.

Una línea de la investigación estudiará la causa de que, tras una reparación tan completa en el 2003, todavía aparezcan estos problemas derivados del agua. Para ello, el análisis de la última restauración, el estado anterior a esta y el actual del edificio adquieren una gran relevancia para comparar y esclarecer la causa de los daños, así como la efectividad de los métodos utilizados para eliminarlos. Este análisis consistirá en distintas visitas al lugar para realizar tomas de datos y levantamientos, entre otras cosas, así como la compresión del edificio, incluyendo el terreno en el que se encuentra y las distintas técnicas de reparación aplicadas a este. Por tanto, estudio resultará de gran interés al tener esa doble componente de observación y estudio, además de poner en práctica diversos aspectos aprendidos durante los distintos cursos de la carrera muy relacionados con el estudio patológico, aplicado a un caso real.

El otro apartado del trabajo de investigación será proponer una reparación para la causa última que ha provocado las lesiones provenientes del agua capilar, para que no vuelvan a aparecer en el futuro. Se estudiarán las soluciones más frecuentes para este tipo de casos, buscando la óptima para la Iglesia en concreto. Con este último apartado se llegará a la culminación del proceso, en el que se observan unas lesiones, se investigan las causas y se estudia y propone una posible reparación.

Al tratarse de un caso muy específico, real y práctico, además de tener un fondo de investigación y tomas de datos, el estudio adquiere una mayor motivación, siendo la investigación sobre una de las Iglesias con mayor importancia cultural y social de Sevilla. De esta forma podría ser el punto de partida para una futura reparación real de la actual Iglesia.

1.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

La finalidad del estudio consiste en estudiar las distintas lesiones provocadas por la humedad de capilaridad en la Iglesia del Salvador y su evolución, a través de la comparación entre el estado actual y el estado de antes de la reparación del año 2003; y la elección cálculo de un sistema de drenaje para solventar la causa de estas.

Objetivo General

- Proponer una reparación para las humedades de capilaridad de la Iglesia del Salvador.

Objetivos Específicos

- Análisis de las causas y lesiones de las humedades de capilaridad, tanto las anteriores a la última intervención como en el estado actual.
- Estudio de las técnicas utilizadas en la última restauración para solventar los problemas con el agua freática.
- Completar la planimetría del estado actual para levantamiento de lesiones.
- Elección del sistema de drenaje óptimo.
- Cálculo de un sistema de drenaje para el caso de la Iglesia del Salvador.
- Selección y dimensionado de un producto.
- Estimación económica de la reparación.

1.3. ESTADO DE LA CUESTIÓN. INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

En primer lugar, para comprender el edificio en su estado actual, se ve imprescindible que se estudien los cambios por los que ha pasado este desde su origen hasta el presente.

- **Origen Romano**

La Iglesia del Salvador tiene un origen desconocido debido a la falta de documentación que acredite el mismo. Sin embargo, existen diversas hipótesis que sitúan su origen durante la época romana imperial. La gran parte de ellas coinciden en la ubicación de un edificio público dentro de una zona de gran relevancia de la ciudad romana. Esta teoría se refuerza debido a la situación geográfica de la manzana, siendo uno de los puntos más altos de Sevilla.

Diversos restos arqueológicos encontrados en la zona hacen suponer que se trataba de un sector de gran valor representativo de la ciudad, pudiendo ser la intersección del Cardo y el Decumano de la ciudad, como varios autores interpretan:

“El cardo máximo se ha establecido sobre el recorrido de Alhóndiga, Cabeza del Rey Don Pedro, Alfalfa, Corral del Rey y Abades-Alianza, mientras que el decumano máximo se ha hecho discurrir por Águilas, Alfalfa, Alcaicería y el Salvador-Gallegos. (...) En el cruce de los dos ejes viarios principales se sitúa el foro de época imperial, construido hacia el cambio de Era, y que queda así descentrado; se ha sugerido que el ámbito abarcado por este espacio público, de gran valor representativo en la ciudad romana, estaría delimitado por las calles Alcaicería, Cuesta del Rosario, Tres Caídas y Plaza del Salvador”

(Ordóñez Agulla, Valor Piechotta, Tabales Rodríguez, Collantes de Terán Salinas, & Fernández Sánchez, 2002, p. 24)

En cuanto al edificio en sí, una de las teorías que cobra fuerza establece que pudo ser la ubicación del foro romano, como reflexiona Blanco Freijeiro:

“Un rectángulo bastante espacioso para ser el foro de una colonia romana. Incluso cabría prolongarlo hasta la Plaza del Salvador, lo que nos daría una traza algo semejante a la del centro de Tréveris, con unas termas a un lado que en este caso se corresponderían con las registradas por Collantes de Terán en la Cuesta del Rosario”

(Blanco Freijeiro, 1984, p. 131)

La otra hipótesis sobre el uso del edificio fue la de una basílica romana, edificio público donde se impartía justicia, o incluso un templo. Fernando Mendoza establece como posibles estas hipótesis tras el estudio de otros autores y de la propia disposición constructiva del edificio en su estado actual:

“Podemos suponer en el solar del Salvador un edificio basilical debido a la escasa altura de las columnas que han sobrevivido: conjuntamente con el capitel apenas llegan a los tres metros. Si hubiera sido un templo, las columnas tendrían una altura más importante. También cabe la

hipótesis de que las columnas se reutilizaran de los pórticos del foro y el origen del edificio primitivo en el solar fuera un templo, lo que reforzaría aún más, la hipótesis de la persistencia religiosa"

(Mendoza Castells, 2008, p. 49)

Por tanto, podemos decir que, aunque no hay evidencias del origen preciso del edificio, si se conoce que se encontraba en una zona privilegiada de la ciudad, pudiendo ser una construcción de gran entidad dentro de la ciudad romana.

- **Época Visigoda**

Durante el período del visigodo, hay discrepancias sobre el uso del edificio. Blanco Freijeiro realiza la hipótesis de que el edificio pasó de ser una basílica romana a un edificio religioso: *"La basílica hispalense, edificio civil primero, adaptado después al culto religioso"* (Blanco Freijeiro, 1984, p. 132). Sin embargo, al igual que en época romana, no hay pruebas suficientemente aclaratorias que certifiquen la función del edificio en este período. Sí se tiene constancia de que mantuvo su papel de edificio de gran relevancia para la sociedad de su tiempo. Esto se demuestra en la siguiente etapa de la historia de la ciudad, durante el período islámico.

- **Época Islámica**

El edificio público romano y después visigodo fue derribado para construir una mezquita en el siglo IX d.c. durante el mandato del omeya Abd al Rahman II, llamada mezquita Addabás, en honor al director de la construcción. Existen pruebas fehacientes de este suceso:

"Gracias al hallazgo del epígrafe fundacional de la mezquita de Ibn Adabbas, situada en el emplazamiento de la actual Iglesia del Divino Salvador, sabemos que ésta era la mezquita mayor de Sevilla desde el año 829 hasta el 1182 (...). El epígrafe fundacional labrado en un fuste de mármol gris es el más antiguo de los encontrados en al-Andalus, y dice así: Dios tenga misericordia de Abd al-Rahman b. al-Hakam, el emir justo, el bien guiado por Dios, el que ordenó la construcción de esta mezquita, bajo la dirección de Umar Ibn Adabbas, qadi de Sevilla en el año 214 (11 de marzo de 829/27 de febrero de 830). Y ha escrito Abd al-Barr b. Harun. [Traducción de M. Ocaña Jiménez]."

(Ordóñez Agulla et al., 2002, p. 45)

Además de esto, en excavaciones que se realizaron recientemente en la propia Iglesia verifican la hipótesis de que el edificio albergó una mezquita:

"La aparición de elementos constructivos perfectamente definidos ha permitido dibujar su planta y, al integrar otros testimonios históricos, conseguir una imagen arquitectónica, posibilitando la recreación de uno de los oratorios islámicos más antiguos de España"

(Mendoza Castells, 2008, p. 59)

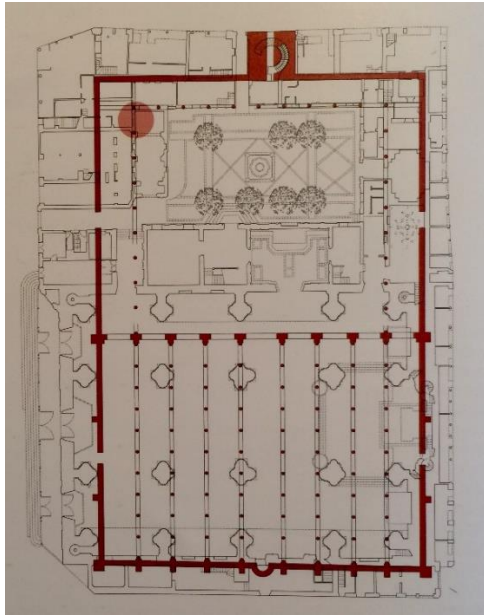


Ilustración 1. Superposición de la planta de la mezquita de Addabás con la de la actual Iglesia del Salvador (Mendoza Castells, 2008, p. 78)

Además de todos estos hallazgos, en la actualidad permanece en pie el alminar de la mezquita, actualmente un campanario, siendo el resto mejor conservado de la mezquita, junto con el patio de los naranjos.

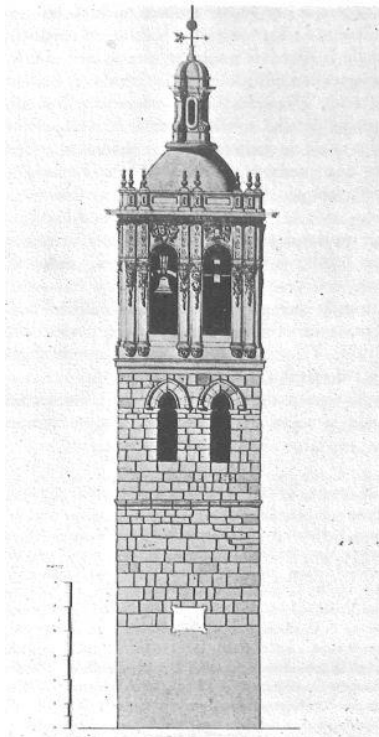


Ilustración 2. Dibujo de la Torre de la Iglesia del Salvador (Siglos VIII, XIV y XVIII) según P. Fernández de Heredia (Torres Balbás, 1946, p. 430)

Fue la mezquita mayor de la ciudad hasta la construcción de la mezquita Aljama almohade en el año 1172, la actual catedral de Sevilla. Durante este período, la mezquita fue reparada en múltiples ocasiones, lo que nos confirma la gran importancia que tuvo este edificio dentro de la sociedad musulmana:

"Bajo el reinado de al-Mutamid en el año 472H/1079-1080 se reparó la parte alta del alminar que se había desplomado como consecuencia de un terremoto; algo más de un siglo después, 592H/ 1196-1197 bajo la égida del califa almohade Abu Yusuf Yaqub, se reparó la techumbre del haram y se adosaron contrafuertes a los muros perimetrales del templo, también se soló el patio de abluciones (sahn) y se reparó todo lo que amenazaba ruina"

(Ordóñez Agulla et al., 2002, p. 45)

- **Época Cristiana**

En el año 1248 Fernando III conquistó Sevilla. Este hecho supuso que numerosos edificios religiosos del islam pasaran a ser templos cristianos. Sin embargo, como afirma Mendoza Castells, edificios de mayor entidad, como la mezquita mayor (actual Catedral) y la mezquita de Addabás (actual Iglesia del Salvador), se mantuvieron sin realizar cambio alguno en el edificio. Además, es en este momento en el que se produce la consagración de la mezquita de Addabás, convirtiéndose en la Iglesia Colegiata del Divino Salvador del Mundo, siendo el segundo templo más importante después de la Catedral:

"Cuando en 1248, los castellanos de San Fernando entraron en Sevilla, dieron uso a las mezquitas, transformando algunas en templos cristianos. Tuvo una consideración especial con los edificios musulmanes más importantes: consagró la mezquita mayor con la advocación de Santa María y la antigua mezquita de Ibn Addabás al Divino Salvador del Mundo"

(Mendoza Castells, 2008, p. 85)

Durante cuatro siglos, el edificio de la antigua mezquita sirvió de culto a la fe cristiana. A diferencia de muchos edificios cristianos que albergaron mezquitas en su período anterior, que fueron sustituidos progresivamente por nuevas edificaciones donde se situarían las Iglesias, el edificio ocupado la antigua mezquita se mantuvo en pie durante todo este tiempo.

- **Desde el s. XVII hasta su última Restauración**

Fue en 1671 cuando, finalmente, se derribó el antiguo edificio de la mezquita para la construcción de una Iglesia barroca. La causa del derribo la justifica Torres Balbás en el estado ruinoso del edificio, junto con diversos problemas que hacían que el edificio que albergaba a la segunda Iglesia de mayor importancia de la ciudad no cumpliera con las exigencias y expectativas.

"Por la poca altura de las columnas y las escasas y reducidas ventanas, el templo era lóbrego y oscuro. En el citado siglo su techo estaba apuntalado y el edificio ruinoso. El contraste con los restantes religiosos contruidos o reformados a la sazón por la piedad de los sevillanos era grande. Así se explica su derribo en 1671, del que tan sólo se salvó el alminar"

(Torres Balbás, 1946, p. 433)

Tras el derribo del edificio se procedió a la construcción del nuevo templo cristiano. *“La dirección de obra la compartieron Esteban García, hasta su cese, y Pedro Romero” (Mendoza Castells, 2008, p. 105).* Sin embargo, este proyecto no pudo quedar finalizado. En el año 1679 el edificio se desplomó, cuando estaba a punto de finalizar la obra, aunque algunos escritos dictaminan que ocurrió una vez inaugurada la Iglesia. Existen diversas hipótesis sobre las posibles causas de que esto sucediera. Mendoza señala que *“posiblemente, y dado el escaso plazo de tiempo, la ruina sucedió al quitar algunas cimbras y apeos de soporte” (Mendoza Castells, 2008, p. 123).* También culpa a la mala baja calidad de los pilares, debido a su escasa sección, y a la mala calidad constructiva debido a los tiempos de la obra, que hicieron que la construcción no tuviera el tiempo necesario para su adaptación al terreno en el que se encontraba *“El resultado pudo provocar la ruina si, además el pilar tenía escasa sección y el suelo tuvo un asiendo brusco” (Mendoza Castells, 2008, p. 123).*

Después de este acontecimiento, se volvió a iniciar la construcción de la Iglesia, que duró entre los años 1679 y 1712. En este caso, se cuidó al detalle cada uno de los elementos constructivos que causaron el desastre del anterior edificio. El resultado final es, en gran parte, el edificio que llega a nuestros días.

Sin embargo, en el siglo XIX se llevaron a cabo una serie de obras, de menor rango, para la adaptación de Colegial a Parroquia, realizándose una serie de transformaciones en la nave central. Posteriormente, en el mismo siglo, la fachada también se vio afectada por nuevas obras, además de la colocación de la verja que cierra el edificio.

Finalmente, en el año 2003, debido al estado casi ruinoso en el que se encontraba la Iglesia, se llevó a cabo una restauración integral del edificio, en el que realizaron diversas obras que tocaron aspectos vitales del edificio, como la estructura, la cimentación, las bóvedas... y se llevó a cabo una serie de intervenciones de emergencia para subsanar los problemas derivados del alto nivel freático. Es en este punto donde comenzamos el presente trabajo.

2. DESARROLLO

2.1. METODOLOGÍA

El trabajo se llevará a cabo a partir de distintas líneas paralelas de investigación. Estas líneas quedan agrupadas en dos grupos principales, el trabajo de campo y la investigación bibliográfica, donde se realizarán búsquedas sobre la última intervención en la Iglesia del Salvador, especialmente en lo relacionado con los sistemas de drenaje, como base para la elección del mejor sistema de drenaje para su aplicación en la Iglesia y el cálculo de dicho sistema.

Por tanto, se realizará una labor de campo, en el que se harán levantamiento de lesiones provocadas por la humedad de capilaridad en la Iglesia, descartando la zona del patio de los naranjos y centrándonos en la zona situada en la calle de la Cuesta del Rosario – Villegas, donde más presencia tiene el agua en los muros. Toda esta información será plasmada de manera gráfica para ser analizada y poder establecer conclusiones. Las imágenes que se tomen junto con la planimetría serán primordiales para poder elaborar los resultados una vez se haya recopilado toda la información.

Como principal apoyo de este trabajo se tendrán en cuenta tanto publicaciones del arquitecto Fernando Mendoza, quien dirigió la última restauración de la Iglesia en el año 2003, como el estudio geotécnico del lugar realizados por Vorsevi S.A. como parte de los estudios previos a la intervención en la Iglesia, aportados por el tutor del trabajo, Antonio Jaramillo.

Por otro lado, se realizará una investigación bibliográfica relacionada con los distintos tipos de drenajes más comunes actualmente, aplicables a este tipo de casos, estudiando sus principales características, situación idónea de aplicación, ventajas e inconvenientes con el fin de establecer uno que pueda aplicarse a la Iglesia.

Una vez escogido el sistema de drenaje más adecuado para nuestro caso, se calculará en la situación real en la que se encuentra, justificando un dimensionado y como base para la elección de un producto del mercado

Los dos caminos de trabajo buscan el objetivo común de encontrar los problemas actuales que aparecen en la Iglesia debido al agua capilar y la elección de la mejor solución que repare la causa de esos problemas que hoy encontramos.

Por último, se buscará plantear una estimación económica del costo que tendría el conjunto de las medidas adoptadas para llevar a cabo la reparación. De esta manera se intenta conocer orden de magnitud en el que nos estamos moviendo económicamente, con el fin de ver, en un futuro, su viabilidad, aunque no entraremos a valorarlo.

2.2. ÚLTIMA ACTUACIÓN EN LA IGLESIA DEL SALVADOR (2003-2007)

El equipo encargado de realizar el encargo estaba dirigido por el arquitecto Fernando Mendoza, quién, años más tarde, publica un libro detallando todo el proceso de restauración (Mendoza Castells, F. (2008). *La Iglesia del Salvador de Sevilla: biografía de una colegiata: historia, arquitectura y restauración*. Sevilla: Tébar) que será la principal fuente de información de este apartado. Además, la empresa Vorsevi. S. L. realizó un informe de estudios previos, en el año 2001, en el que se recopilan todos los trabajos realizados anteriores a la obra, descripción de la cimentación existente, investigación del subsuelo, estudio de lesiones y daños, estudio de las humedades, recopilación de muestras, análisis y ensayos y el estudio geotécnico.

Causas del Mal Estado de la Iglesia

El estado de la Iglesia del Salvador antes de la última actuación, que dio comienzos en el año 2003, era de un gran deterioro general. Fernando Mendoza y su equipo establecen, tras distintos estudios realizados, que las principales causas del mal estado eran las siguientes:

- Movimientos del suelo de la Iglesia.
- El terreno.
- Humedades en paramentos de muros y pilares.
- Aguas subterráneas.
- Estado del soporte del edificio.
- Terremotos y sus consecuentes lesiones.
- Patologías en los arcos, bóvedas y la cúpula.
- Filtraciones de agua a través de la cubierta.
- Mal estado de las cornisas.

De todas estas causas que provocaron el deterioro de la Iglesia nos centraremos en las humedades en paramentos de muros y pilares y en las aguas subterráneas.

El estudio de las humedades, como se mencionó anteriormente, formó parte del informe de Vorsevi S.A. Para el levantamiento exterior de lesiones se utilizó la inspección visual, a partir de la cual se realiza el siguiente levantamiento, destacando a las humedades sobre las demás patologías:

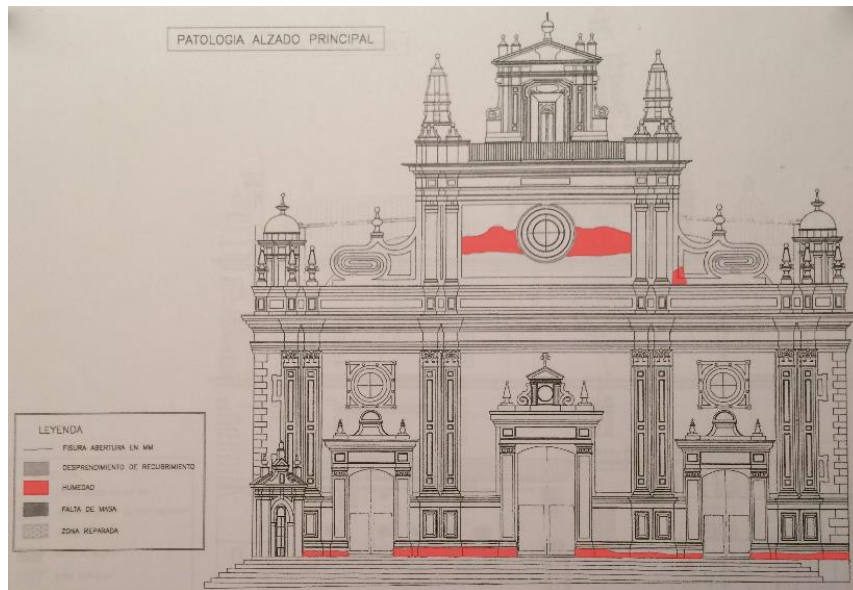


Ilustración 3. Patología Alzado Principal. Informe Vorsevi 2001

En la Ilustración 3 sobre el alzado principal, se observan humedades en el zócalo del edificio, con **una altura media de unos 60cm**. Aparece, también, una gran mancha de humedad en el cuerpo superior.



Ilustración 4. Patología Alzado Sur. Informe Vorsevi 2001

En la Ilustración 4, que muestra la fachada sur, no se observan grandes problemas de humedades, destacándose más las fisuras en el cuerpo superior del edificio.

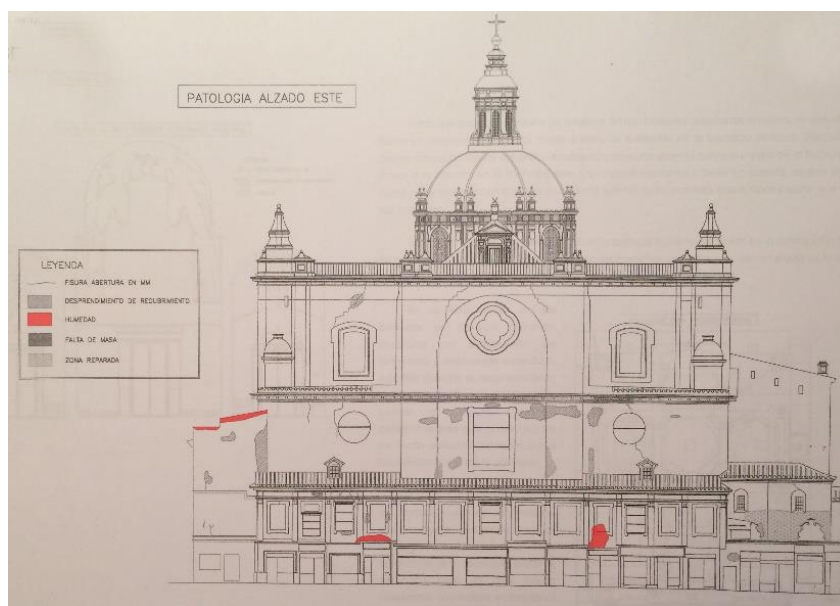


Ilustración 5. Patología Alzado Este. Informe Vorsevi 2001

Al igual que en la fachada anterior, en la Ilustración 5 apenas se observan lesiones de humedad. Si aparecen otras patologías, como desprendimientos del revestimiento y fisuras.

Se realizó un riguroso levantamiento de humedades y salinidad en el interior de la fachada principal. Para ello se realizó tanto la recopilación de muestras, con la determinación de su humedad mediante el secado en la estufa, como la inspección in situ de los paramentos con la ayuda de un higrómetro, comparando los resultados para una mayor fiabilidad. Con esta información se realizó el siguiente levantamiento, donde se observan tanto las curvas de humedad, como la salinidad en los paramentos:

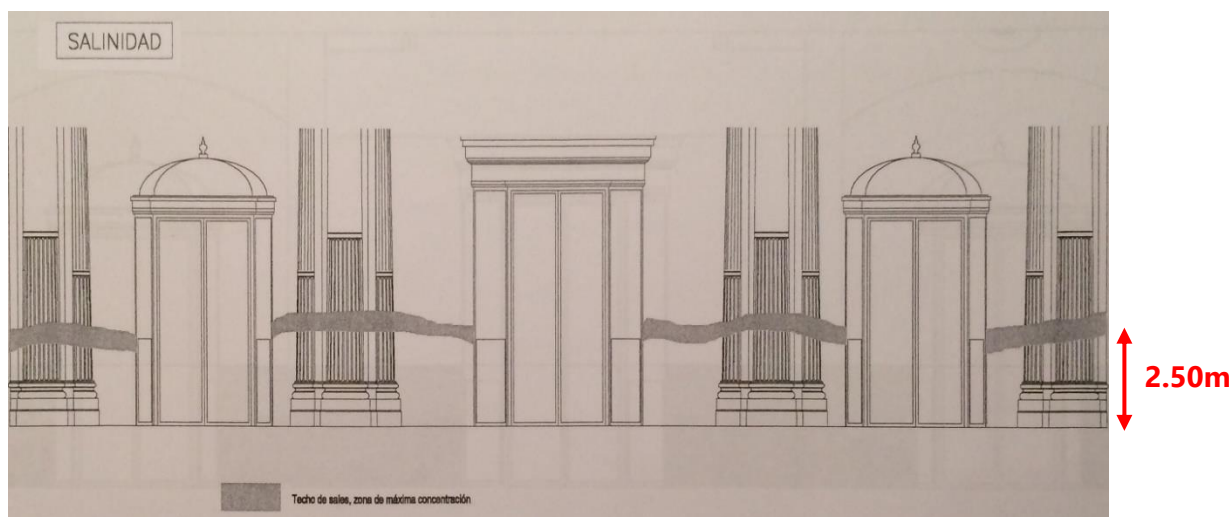


Ilustración 6. Salinidad por Interior. Fachada Principal. Informe Vorsevi 2001

Las manchas de salinidad alcanzan una altura importante, llegando a superar los 2.50m en la parte interior de la fachada principal.

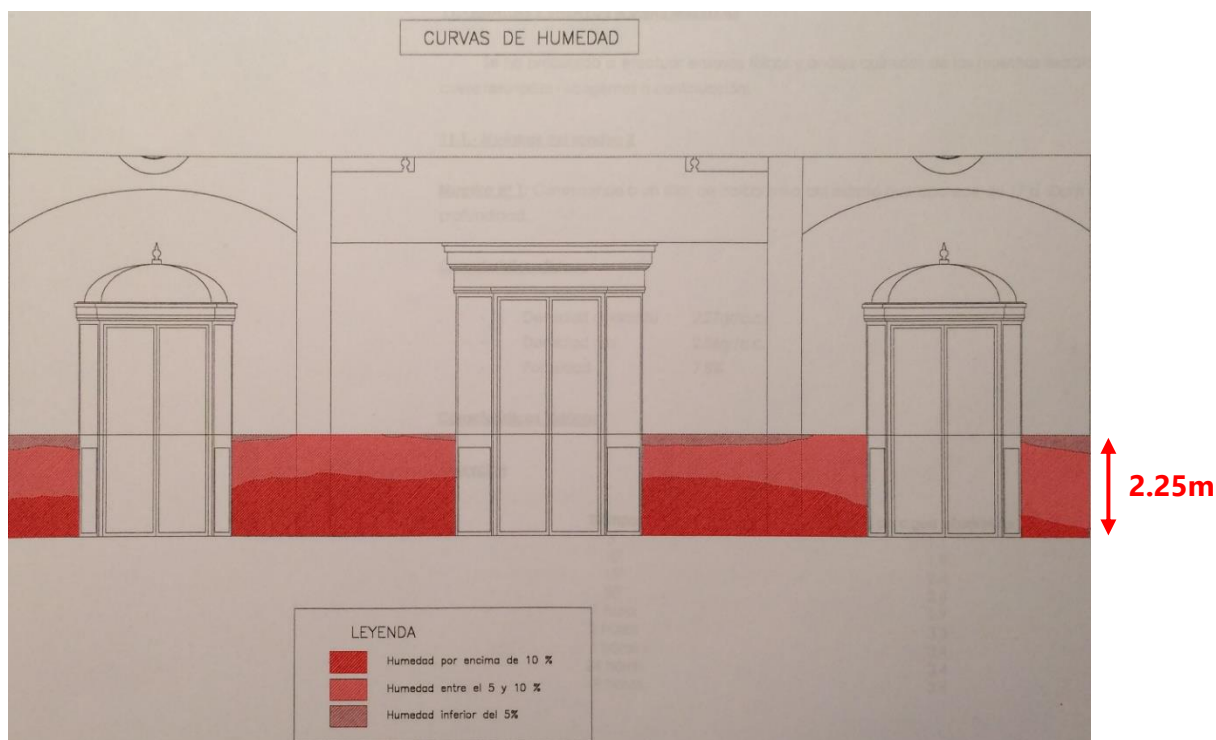


Ilustración 7. Curvas de Humedad por Interior. Fachada Principal. Informe Vorsevi 2001

Aparece una gran cantidad de humedad en el interior de la fachada principal, dando como consecuencia los altos niveles de salinidad señalados en la Ilustración 6.

En general, tras estudiar los levantamientos de Vorsevi S.A. se aprecia que la fachada principal presentaba mayores humedades de capilaridad que el resto de las fachadas. Esto también puede deberse a que se realizó un estudio más detallado de esa fachada al ser la de mayor relevancia.

La humedad en la estructura portante provoca la pérdida de resistencia de esta, además, el material poroso y poco resistente del Salvador hacía que mantener la humedad fuera de los muros y pilares fuera crucial para garantizar la seguridad del edificio.

"La verificación de las humedades nos llevó a la conclusión de la existencia de aguas subterráneas en la Iglesia" (Mendoza Castells, 2008, p. 295). Entre las posibles causas de la aparición de esta agua se barajó la rotura de las redes de recogida de aguas pluviales, dependientes de EMASESA. Para esclarecer esta situación, Mendoza nos cuenta que, con la ayuda de la compañía, se realizaron diversos análisis químicos, llegando a la conclusión de que la procedencia del agua era de origen natural, siendo, por tanto, de carácter freático. Sin embargo

Era importante conocer la cantidad de agua que estaba afectando al edificio para poder realizar el drenaje correspondiente. *"Una vez excavada la totalidad del templo se realizó una medición del agua entrante: 3000 litros/hora"* (Mendoza Castells, 2008, p. 296). Esta agua formó "una piscina" en la cripta de la Iglesia, verificando el comportamiento de embalse que ejercía el edificio y su cimentación.



Ilustración 8. Aparición de agua en la Cripta. Fernando Mendoza 2003

Eliminación y Control del Agua subterránea

Con el fin de eliminar y controlar el agua que penetraba en el edificio procedente de la capa freática se tomaron una serie de medidas:

- Bombeo y drenaje del agua. Se colocaron dos bombas, para la extracción del agua de la cripta, y una red de drenaje conectada al alcantarillado, funcionando de manera complementaria, como detalla Mendoza en su libro:

"Para el control del agua se estableció una tecnología doble, de drenaje y bombeo. La red de drenaje se conecta por gravedad con la tubería municipal de alcantarillado de la plaza del Salvador, como última solución contra la inundación de la cripta. El sistema de bombeo actúa constantemente, día y noche. Tiene dos bombas y una válvula antirretorno para evitar que la red de alcantarillado externa introduzca agua en la cripta, en el caso de trombas de lluvia de gran intensidad"

(Mendoza Castells, 2008, p. 341)

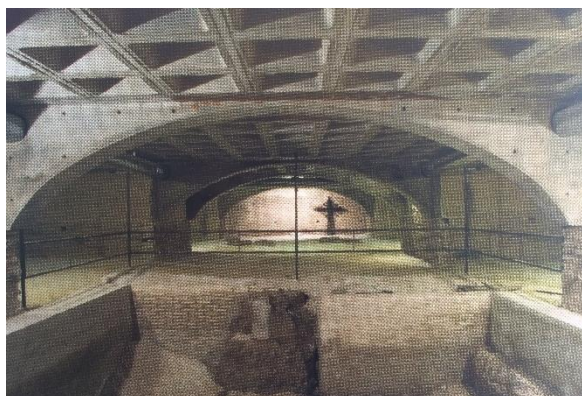


Ilustración 9. Depósito de retención de aguas subterráneas para drenaje y bombeo. Fernando Mendoza 2003

- Aireación de la cripta. Se pretendía eliminar el aire húmedo para evitar condensaciones y humedades, instalándose una red de ventilación programada

para que funcionase de forma automática. Esta intervención provocó que se eliminara la humedad del edificio de manera notable:

"El proceso de secado del edificio ha sido espectacular, eliminándose la humedad ambiente y suprimiéndose los niveles de ascensión de agua por capilaridad. Se ha notado especialmente en la mejora de condiciones de las pilas estructurales"

(Mendoza Castells, 2008, p. 341)



Ilustración 10. Montaje del sistema de ventilación de la cripta. Fernando Mendoza 2003

- Sótano como tanque de tormenta. Se realizó una excavación de 10x10x2 metros que sirviera para mantener el agua acumulada en el caso de una gran inundación en la cripta en época de lluvias, siendo eliminada poco a poco a través de las bombas o el sistema de drenaje colocados.



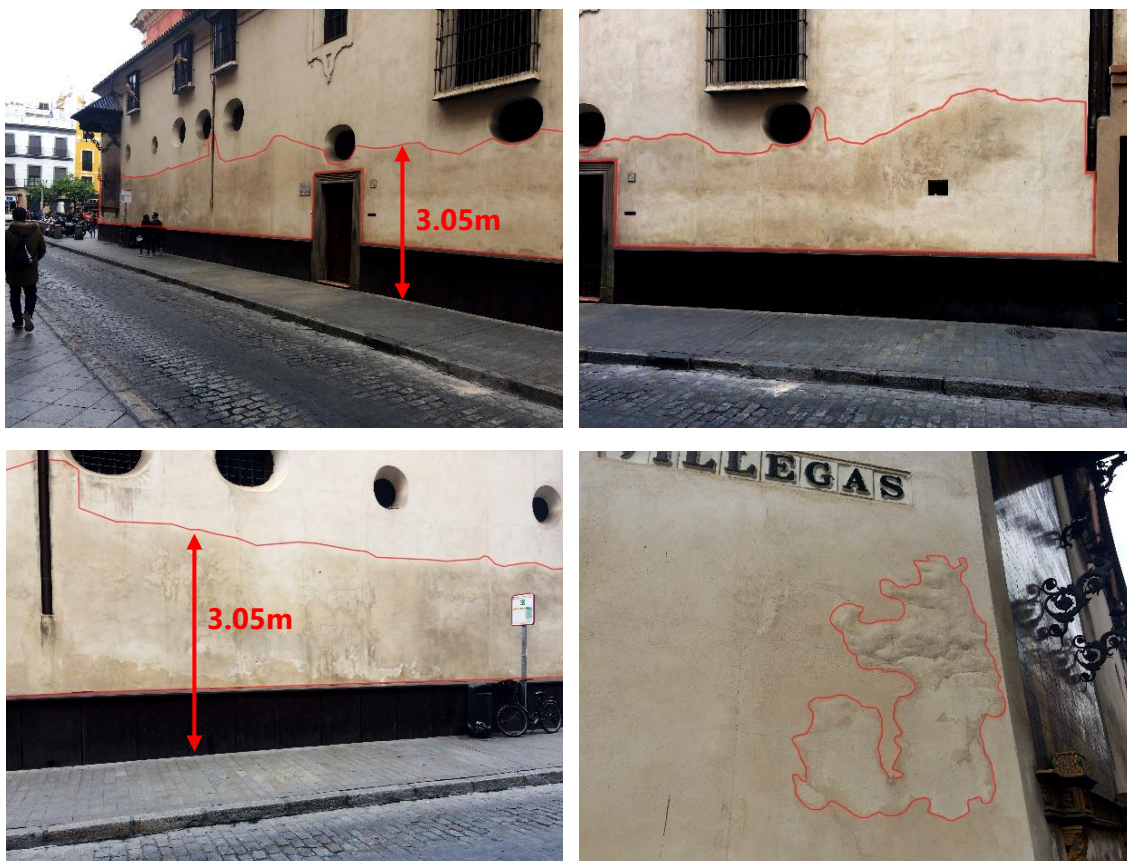
Ilustración 11. Tanque de Tormenta. Fernando Mendoza 2003

2.3. ESTADO ACTUAL. TOMA DE DATOS Y LEVANTAMIENTO

Una vez analizada la última actuación en la Iglesia del Salvador, nos disponemos a observar el estado actual del edificio, con el fin de comprobar si las reparaciones acometidas en cuanto a las humedades han tenido el efecto deseado. Se hará una serie de visitas a la Iglesia y se realizará un levantamiento de las humedades, comparándolas con las que aparecen en el informe de Vorsevi. Además, se completarán los planos del edificio, aportados por el tutor Antonio Jaramillo, con la información de la cripta y el terreno, ausentes en los mismos.

Primera visita (17-02-18)

Se realiza una primera visita al lugar para una primera toma de contacto con el estado actual del exterior del edificio. A simple vista se observan grandes manchas de humedades de más de 3 metros de altura por toda la fachada Sur del edificio, hacia la calle Villegas-Cuesta del Rosario, además de abombamiento del revestimiento en ciertos puntos, como puede apreciarse en las siguientes fotografías:



Fotografía 1. Exteriores fachada sur. Primera visita (17-02-2018)

En la fachada principal se aprecian humedades en las zonas bajas del muro, llegando la marca del agua hasta 1,5 metros de altura aproximadamente, apareciendo algunos desprendimientos, tanto de revestimiento como del material pétreo del zócalo. También se observan algunas manchas blancas, rastro de sales.



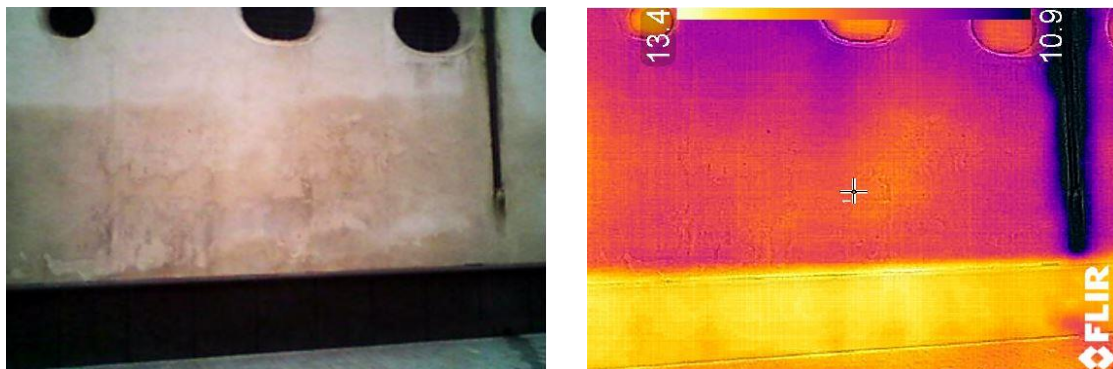
Fotografía 2. Exteriores fachada principal. Primera visita (17-02-2018)

Segunda visita (13-03-18)

Para realizar esta visita, el tutor del TFG contacta con Jaime Navarro, actual conservador de la Iglesia del Salvador (y de la Catedral). Concertamos una visita en la que realizaremos un recorrido por las cubiertas del edificio, a título de curiosidad, y por el interior del edificio, visitando también la cripta, cerrada al público actualmente, con el fin de observar la patología derivada de la presencia del agua en el edificio.

Durante la visita, se nos explican los distintos problemas a los que han tenido que enfrentarse en los últimos meses y años. Problemas derivados del mal tiempo que ha afectado a toda la península durante esos meses, con grandes rachas de vientos que ha provocado el desprendimiento de algunas cornisas; también se nos relatan problemas derivados de la anidación de las palomas, cuyos excrementos deterioran los materiales pétreos y cerámicos.

Sin embargo, el problema de mayor envergadura es el tema que nos ocupa, las humedades derivadas del agua del nivel freático. Nos detalla este problema, enseñándonos las zonas más afectadas, las cuales se encuentran en fachada sur, calle Villegas-Cuesta del Rosario, tanto en el exterior del edificio como por el interior, especialmente en la capilla de San Cristóbal, donde los materiales de revestimiento de mármol rojo presentan manchas de humedades, sales y abombamientos.



Fotografía 3. Termografía. Exteriores fachada sur. Segunda visita (13-03-2018)

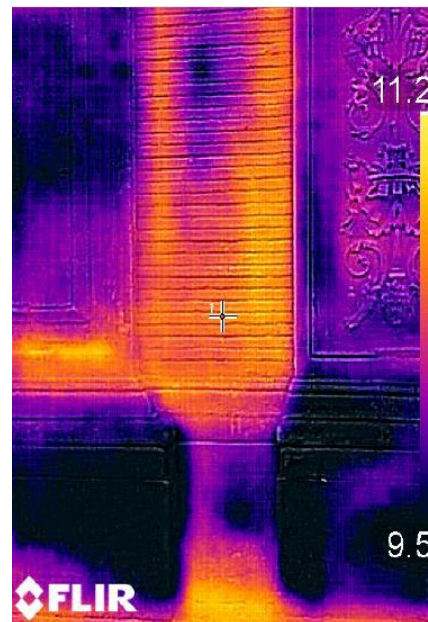
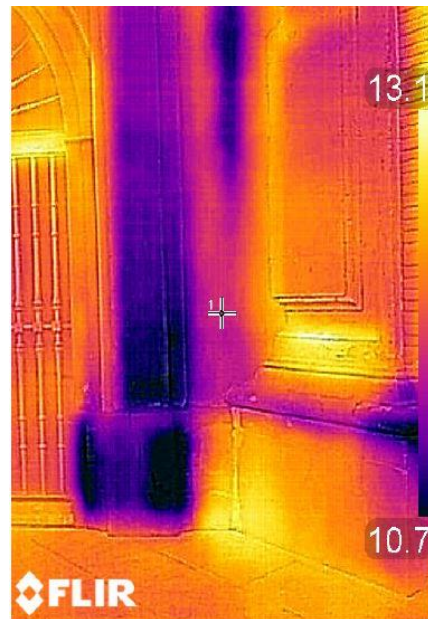


Fotografía 4. Interior Capilla de San Cristóbal. Segunda visita (13-03-2018)

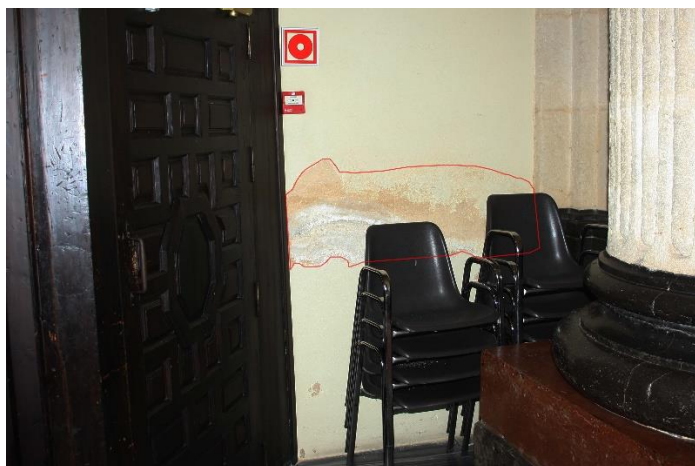
La fachada principal, tanto por el interior como por el exterior también presenta la misma patología, pero en un menor grado. Se aprecia que los problemas van descendiendo conforme nos alejamos del muro sur. La causa de esto, comentan tanto el profesor A. Jaramillo como J. Navarro, se debe a que una corriente freática subterránea discurre desde la zona más alta de la ciudad, situada al final de la cuesta del rosario, hasta la más baja, en la calle sierpes y hacia el río.



Fotografía 5. Termografía. Exteriores fachada principal. Segunda visita (13-03-2018)



Fotografía 6. Termografía. Exteriores fachada principal. Segunda visita (13-03-2018)



Fotografía 7. Interior fachada principal. Segunda visita (13-03-2018)

Una vez visitado el interior abierto al público del edificio bajamos a la cripta. Se aprecia un gran olor a humedad desde el momento en el que vamos bajando. Ya en el interior J. Navarro explica todos los sistemas instalados para solucionar el problema de las humedades, cuyo montaje fue realizado durante la reparación del 2003 a cargo de F. Mendoza.

En primer lugar, encontramos la instalación de ventilación de la cripta mediante una serie de conductos de sección circular con distintas tomas de aire repartidas por toda la planta. Este sistema trata de eliminar el entorno de humedad de la cripta. Para ello, primeramente, hay situados unos conductos que comunican la cripta con el interior de la planta baja de la iglesia, funcionando como tomas de aire. Al extraer el aire de la cripta mediante los conductos de ventilación de este, parte del aire de la planta baja de la iglesia pasa a la cripta, ventilándola, y el aire con humedad que se encontraba en la cripta es aspirada por dichos conductos, llevándolo hacia un plenum situado en un extremo de la cripta, desde donde se expulsa mediante dos conductos verticales en forma de chimenea al exterior por la cubierta. Sin embargo, J. Navarro nos comenta que el tiro se concentra en dicho plenum, perdiendo capacidad de extracción los conductos colocados. Para solucionar esta situación el equipo de J. Navarro nos comenta que plantea, en primer lugar, incorporar otro conducto de ventilación para aumentar el caudal, y, por otro lado, invertir el sistema debido a que la toma de aire de la cripta es poco eficiente. Para ello se tomaría aire directamente del exterior, para evitar el recorrido enrevesado actual y tomar aire menos viciado que el del interior de la Iglesia, y el aire del interior de la cripta sería expulsado hacia la iglesia, aunque esta parte final todavía estaba siendo estudiada.



Fotografía 8. Ventilación de la cripta. Segunda visita (13-03-2018)

Además de las humedades ambientales, tenemos el problema de las humedades provenientes del suelo, es decir, del nivel freático. Se nos comenta que el problema de las humedades en general tiene una gran gravedad en la actualidad.

Actualmente existen dos sistemas para el drenaje del agua del suelo, colocados durante la obra del 2003. En primer lugar, se colocaron 4 tubos de drenaje perforados bajo una capa de grava, que conforma el suelo de la cripta, situados de forma paralela en las dos naves laterales de la Iglesia. Dichos tubos están conectados directamente con la red de alcantarillado exterior. Además, del drenaje, como se observó durante el estudio de la última actuación en la Iglesia, encontramos una excavación funcionando como tanque de tormenta, que se nos comenta que permanece siempre llena de agua debido a la altura del nivel freático. Una bomba succiona el agua de dicho tanque expulsándola hacia el alcantarillado. A pesar de estos dos sistemas, el agua sigue apareciendo, debido a que, aunque controlan el agua bajo el suelo de la Iglesia, no controlan la que llega desde el exterior, motivo por el cual la excavación comentada anteriormente siempre permanece inundada.



Fotografía 9. Tanque de tormenta y bomba de extracción. Segunda visita (13-03-2018)

La solución que proponen es la del rebajamiento del nivel freático desde el exterior como apoyo a los sistemas interiores. De esta forma, desaparecería el agua en todo el recinto de la Iglesia y, junto con el sistema de ventilación propuesto, muchos de los problemas de humedad serían solventados de forma notoria.

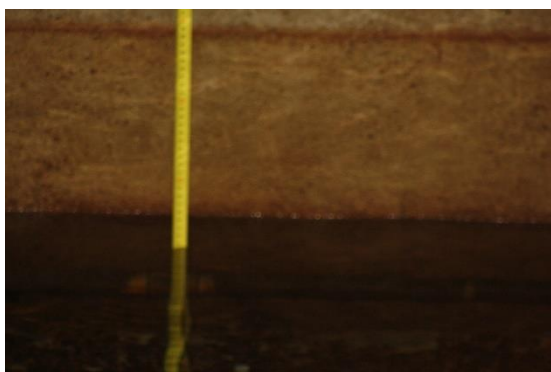
Una vez finalizada la explicación, realizamos una inspección visual de la cripta para localizar las humedades. Se observa que, al igual que en el exterior del edificio, las manchas de humedades son de gran importancia en la zona sur de la cripta, mientras que, al ir avanzando hacia el extremo opuesto, dichos problemas van disminuyendo,

incluyendo el olor a humedad. Tras esta inspección, realizamos un reportaje fotográfico de la cripta y sus humedades, centrándonos en la zona sur. Además, utilizamos la ayuda de una cámara termográfica para localizar mejor las humedades en los muros. Sin embargo, dichas humedades no se aprecian en las imágenes termográficas, debido a que la gran humedad del ambiente hace que la cámara detecte todo el espacio a una temperatura similar.



Fotografía 10. Humedades en muros de la cripta. Segunda visita (13-03-2018)

Se realiza una medición para comprobar la altura del nivel freático. Se observa que la altura respecto a la cota de referencia, situada en la solería de la planta baja, es de 4,35m, habiendo descendido 1m desde la última medición realizada en el 2001, antes de la restauración de la Iglesia. **Debido a que al realizar la medida de la altura del N.F. en una época de mucha lluvia, tomamos esta cota como válida, considerándola para un caso desfavorable.**



Fotografía 11. Medición de nivel freático. Segunda Visita (13-03-2018)

Por último, en el exterior del edificio realizamos un levantamiento de las humedades que aparecen en las fachadas principal y sur, las más afectadas, observando algunos desprendimientos de material y midiendo la cota media y máxima que alcanza el agua en el muro.

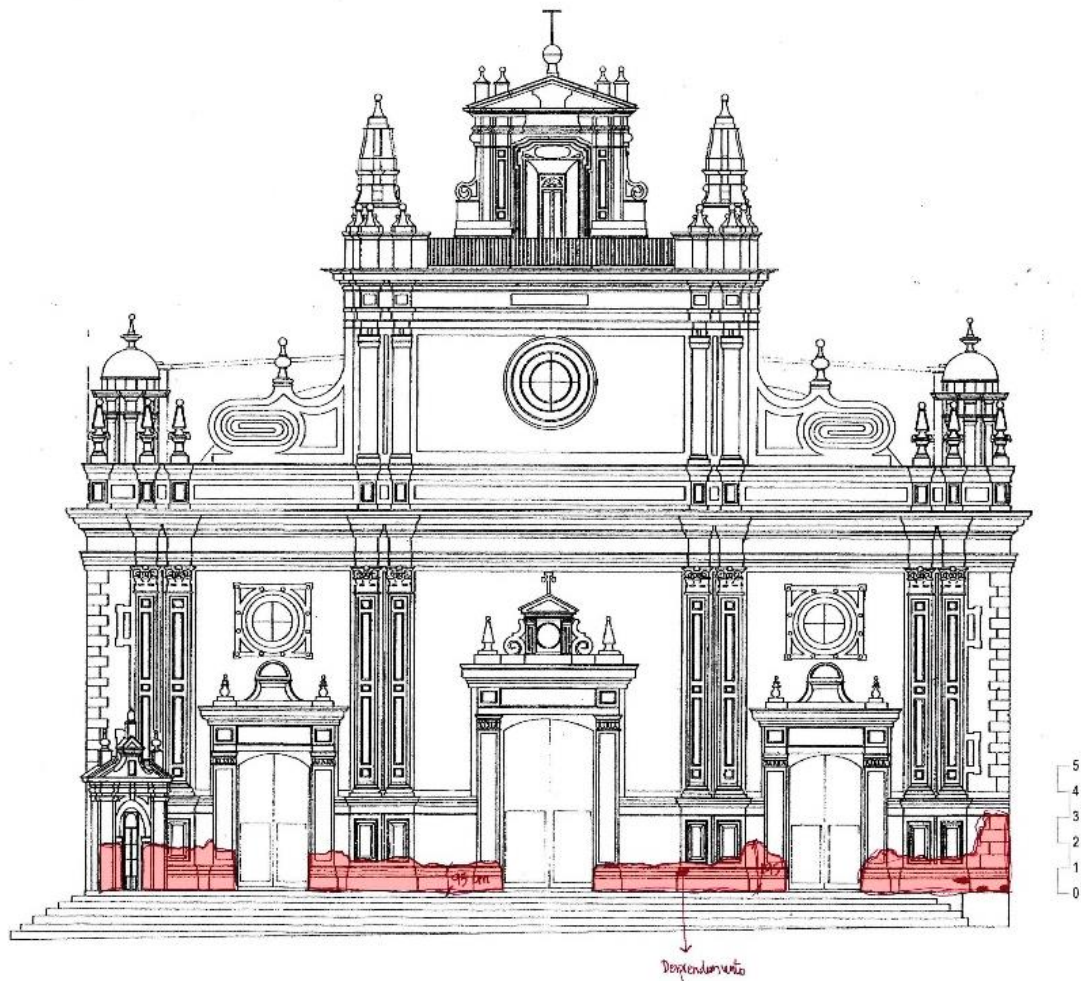


Ilustración 12. Levantamiento de Humedades. Fachada Principal. Estado actual

La fachada principal muestra manchas de humedad en el zócalo, con una **altura media de 95cm**, pero alcanzando casi los 2 metros en ciertos puntos y más de 3 metros en la esquina con la fachada sur.

Además de estas humedades se recalcan lo expuesto anteriormente en las fotografías, que son los desprendimientos del material de revestimiento en las zonas del zócalo donde la humedad ha provocado la aparición de sales y, al expandirse, ha provocado estas lesiones.

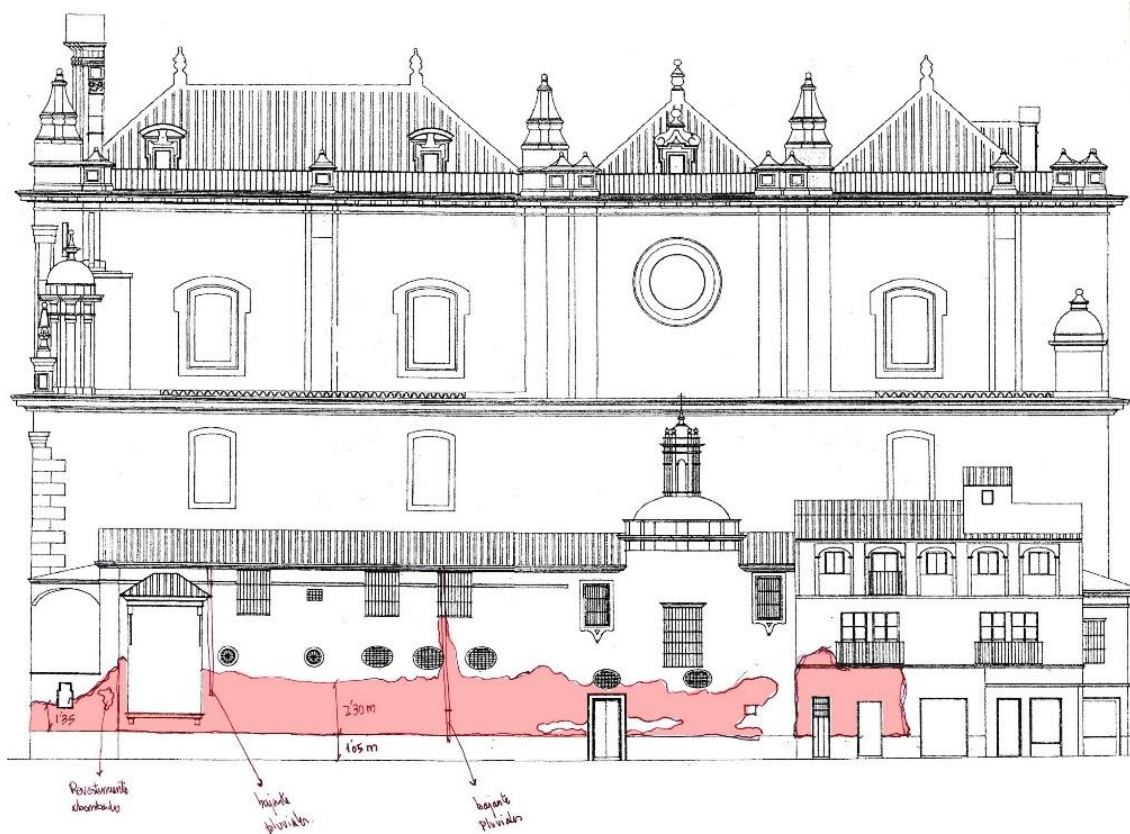


Ilustración 13. Levantamiento de Humedades. Fachada Sur. Estado actual

Tercera visita (20-03-18)

Se realiza una visita para llevar a cabo el levantamiento de la cripta y de sus lesiones relacionadas con las humedades completando la toma de datos de la Iglesia.



Ilustración 14. Levantamiento de Humedades. Fachada Principal Interior y Cripta. Estado actual

Como puede observarse, las humedades van descendiendo conforme nos alejamos de la fachada sur.

2.4. COMPARACIÓN DEL ESTADO ANTES DE LA ÚLTIMA ACTUACIÓN Y EL ESTADO ACTUAL

Una vez tomados todos los datos y realizar el levantamiento de las humedades realizaremos una comparación esta información sobre el estado actual con la información en los planos aportados por el Informe de Vorsevi S.A. de antes de la restauración de la Iglesia.

• Nivel Freático

En primer lugar, se realiza la comparación de la altura del nivel freático.

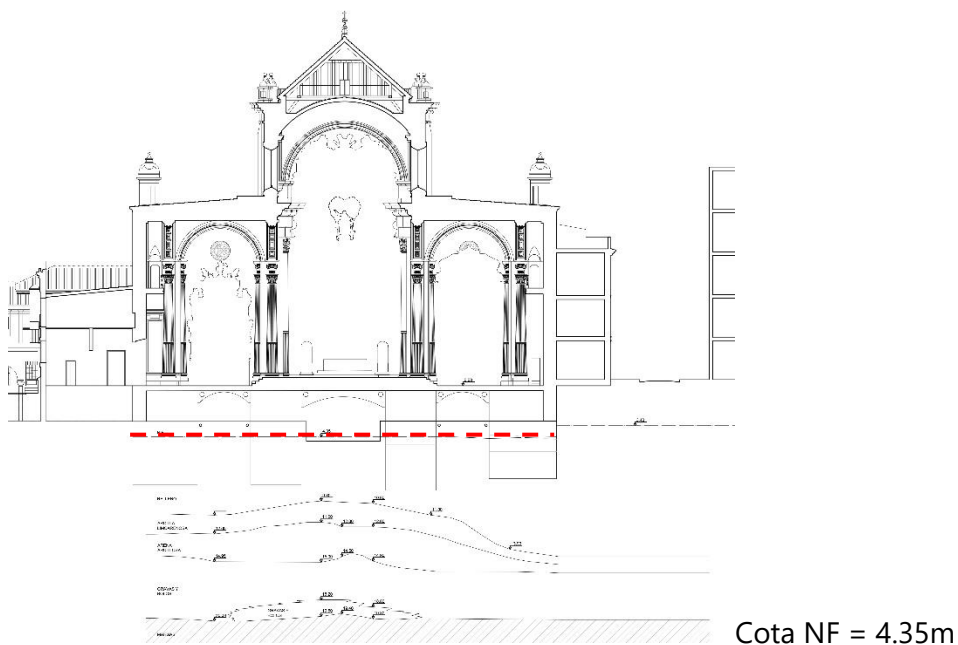
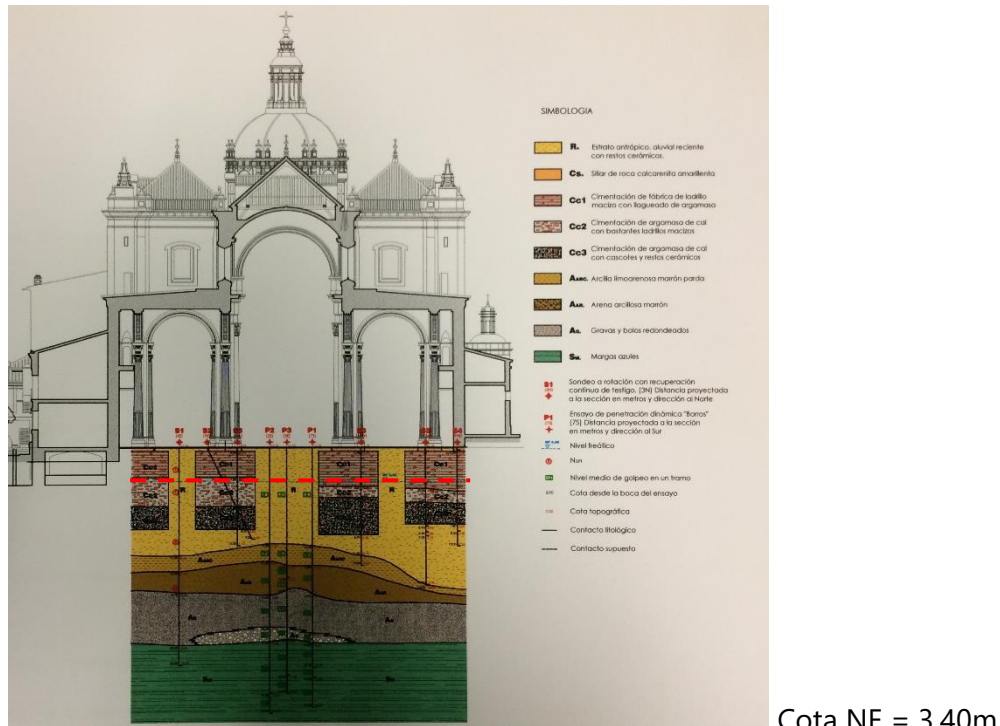


Ilustración 15. Sección. Altura del Nivel Freático. Vorsevi S.A. (arriba) Estado Actual (abajo)

Como puede observarse, con los sistemas de drenajes colocados bajo el suelo de la cripta y el tanque de tormenta excavado, se consigue descender la altura del NF en 95cm. De esta forma se solucionó el problema del agua proveniente de debajo de la Iglesia, sin embargo, como se observará más adelante, no se consigue drenar toda el agua proveniente del exterior.

- **Humedades Exteriores**

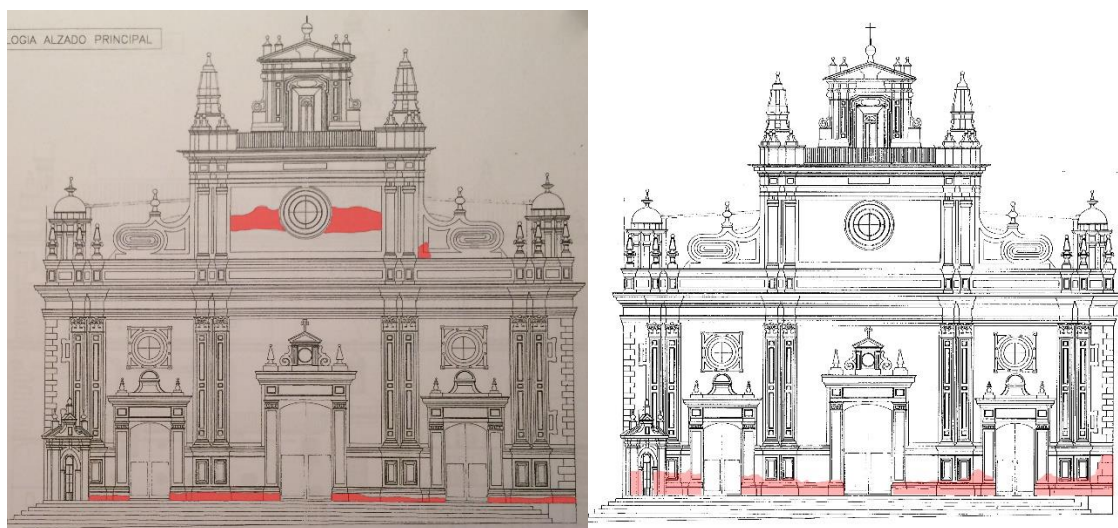


Ilustración 16. Alzado Principal. Humedades Vorsevi S.A. (izquierda) y Estado Actual (derecha)

Se observa que ha aumentado la altura de las manchas de humedad, pasando de 60cm a 95cm de media, incluso puntos con alturas de 175cm. Por tanto, en estas zonas las humedades han aumentado a pesar de las medidas adoptadas en la restauración.



Ilustración 17. Alzado Calle Villegas-Cuesta del Rosario. Humedades. Vorsevi S.A. (izquierda) y Estado Actual (derecha)

En esta fachada se observa el mayor cambio. En el informe Vorsevi S.A. no se observan manchas de humedad, mientras que actualmente es la fachada más afectada por la capilaridad, alcanzando alturas de más de 3 metros. Esto nos hace pensar que agua viene principalmente desde este lado del edificio, el lado sur.

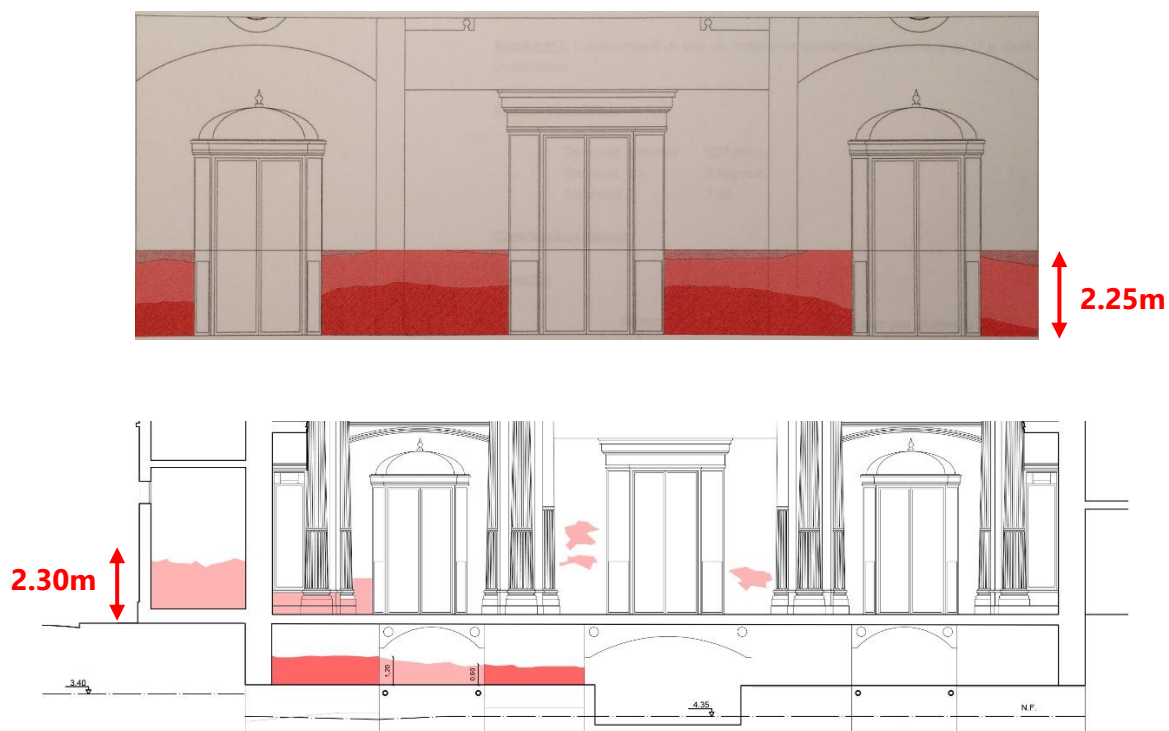


Ilustración 18. Alzado interior. Fachada Principal Humedades. Vorsevi S.A. (arriba) y Estado Actual (abajo)

Las manchas de humedad en la cara interior de la fachada principal han mejorado considerablemente, apareciendo simplemente algunas humedades en zonas puntuales, que requerirán un tratamiento.

Llegamos a la conclusión, a partir de la comparación de las humedades exteriores, que a pesar de que se han introducido medidas para evitar las humedades de capilaridad, el mayor logro conseguido ha sido el descenso en casi 1 metro del nivel freático. Como consecuencia de esto, la zona central del edificio no padece problemas de humedad en la actualidad. Sin embargo, en el perímetro del edificio se observan un gran incremento de las manchas de humedad, aumentando considerablemente la altura de las humedades y llegando a aparecer nuevas manchas.

En los planos anexos se muestran todos los levantamientos de humedades en el interior del edificio, no procediendo su comparación con el estado previo a la restauración debido a que, en primer lugar, no se realizaron levantamientos y, en segundo lugar, otra gran parte de las humedades aparecen en la cripta, que estaba rellena de tierra antes de la restauración.

2.5. SISTEMAS DE DRENAJE PARA REBAJAMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

Para evitar que sigan apareciendo humedades en el edificio es fundamental atajar la causa y que el agua del subsuelo no entre en contacto con la cimentación y los muros. Los distintos sistemas de drenaje que se estudiarán buscan que esa agua que discurre por el terreno no alcance al edificio, proponiéndose, por tanto, un rebajamiento del nivel freático para poder llegar a ese objetivo, impidiendo que el agua suba por capilaridad y aparezcan las distintas patologías derivadas.

Actualmente existen diversos métodos para el rebajamiento del nivel freático. Son técnicas que suelen utilizarse para eliminar el agua en un área determinada para poder hacer excavaciones y cimentaciones por debajo de la cota freática. Sin embargo, pueden ser utilizadas para el caso de la Iglesia del Salvador, con el fin de que la cimentación no entre en contacto con el agua y no se produzcan las actuales humedades en muros ni la inundación del sótano de la cripta.

Debido a que se aplicará a un edificio patrimonial, el rebajamiento del nivel freático se lleva a cabo por el exterior de este, con el fin de afectar lo menos posible al edificio. La principal ventaja de realizarlo por el exterior consiste en que se evita la filtración de agua al edificio, impidiendo que entre en contacto con la cimentación. Además, provoca la consolidación del terreno, debido a que se aumenta el peso efectivo del suelo, antes sumergido y después por encima de la cota freática (Muzás Labad, 2007b, p. 932)

Lozano Martínez Luengas, Lozano Apolo & Coz Díaz establecen en su libro las dos formas de "curar" la altura del nivel freático que afectan a las edificaciones mediante el rebaje de este y mediante la colocación de una red de drenaje (la utilización de ataguías no procede en este caso).

TERAPÉUTICA CURATIVA		
SECAR LA FUENTE	Accidental	Reparar la conducción
		Desobturar la bajante
		Limpiar la arqueta
	Niveles freáticos	Rebajarlos
		Red de drenaje
	Escorrentías	Ataguías
		Redes perimetrales
		Zanjas
Solo en último lugar: Sistemas de desecación		

Tabla 1. Terapéutica curativa para aplicar. Lozano Martínez Luengas, Lozano Apolo, & Coz Díaz, 2006

Por tanto, los métodos para el rebajamiento del nivel freático más comunes consisten en la construcción de pozos profundos y la introducción de lanzas de drenaje "Well Point".

La otra manera de reparar las humedades producidas por el nivel freático consiste en hacer un drenaje mediante tubería de drenaje y existe otro sistema más tradicional como las cámaras de aireación, en las cuales va introducida esa red de drenaje. Existen otros sistemas que permiten controlar el nivel freático, pero no proceden para el caso que nos ocupa.

Tubería de Drenaje

Existe un gran número de tipos y sistemas de drenaje que han ido evolucionando con el tiempo debido a la mejora de la tecnología utilizada para ello y el mayor conocimiento del tema.

El sistema de drenaje tipo está formado por una excavación o zanja en el terreno en el cual se coloca una tubería ranurada, que suele ser de un material plástico, por el cual entra el agua y es conducida con cierta pendiente hacia el punto de desagüe. Este tubo está colocado en el interior de una serie de rellenos que van disminuyendo su porosidad conforme ascendemos de cota. Normalmente suelen ser un relleno de material granular que protege la tubería y actúa como filtro, otro relleno de menor porosidad colocado sobre el primero, y un último relleno poco permeable, arcilla normalmente. En el caso de que el material de filtro sea de una granulometría menor que las ranuras del tubo, será necesario colocar un geotextil (Calavera Ruiz, 1998, p. 10).

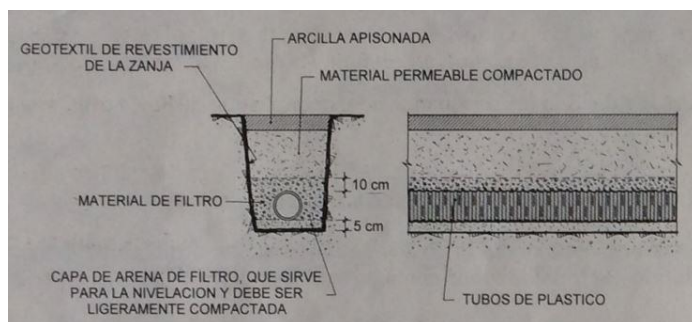


Ilustración 19. Sistema de drenaje mediante tubos de plástico ranurado. J. Calavera 1998

Este sistema de drenaje puede tener disposiciones distintas, de acuerdo con la función que desempeñará. Estos tipos de drenes, según J. Calavera, son los drenes interceptantes, que impiden que el agua llegue a la parcela; los drenes de recogida, destinados para drenar el agua proveniente de la lluvia; los drenes perimetrales, situados al trasdós de los muros evitando o reduciendo la llegada de agua a la cimentación; y por último los drenes de solera, situados en el interior del edificio cuya función es rebajar el nivel de agua en las soleras y los pavimentos. Este último es el utilizado actualmente en la Iglesia del Salvador, colocado a lo largo del suelo de la cripta con un acabado de grava.

Debido a que la finalidad del drenaje en nuestro caso es impedir que el agua llegue a los muros de la cimentación, el drenaje sería del tipo perimetral protegiendo los muros de sótano. Los componentes de este caso son similares a los del drenaje básico, expuesto anteriormente, sin embargo, adquiere gran importancia la impermeabilización del muro desde el exterior mediante una lámina impermeabilizante y una lámina drenante que impidan el contacto del agua con el muro y conduzca a esta hacia el drenaje colocado (Calavera Ruiz, 1998, p. 35).

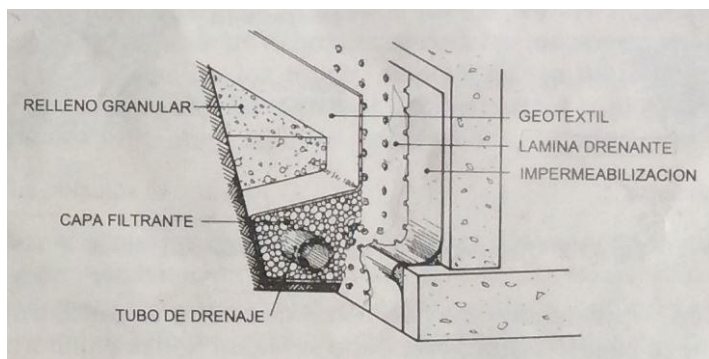


Ilustración 20. Drenaje perimetral de sótano. J. Calavera 1998

El movimiento que el agua describe hacia las tuberías de drenaje sigue la ley de Darcy, la cual define de manera macroscópica las líneas de flujo del agua, como se expone en la Ilustración 21.

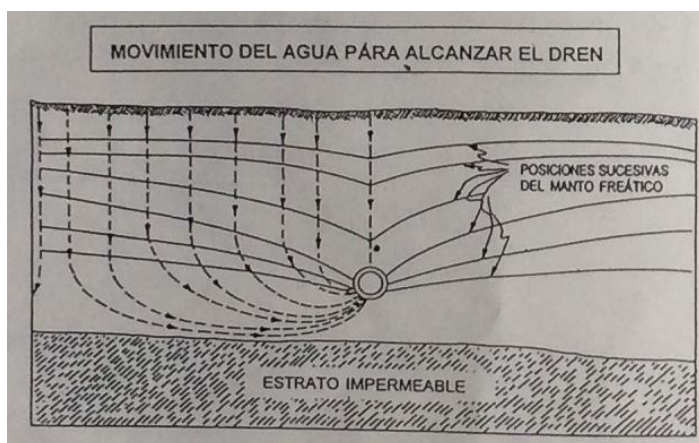


Ilustración 21. Movimiento del agua para alcanzar el dren. J. Calavera 1998

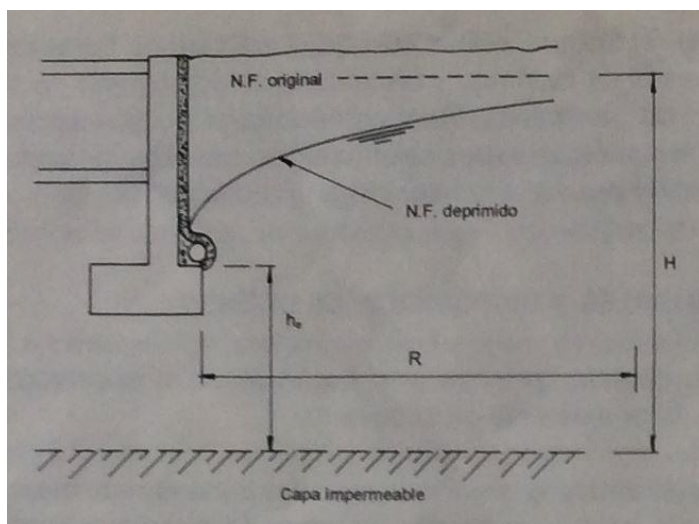


Ilustración 22. Esquema de rebajamiento del nivel freático para una zanja incompleta en acuífero libre y régimen estacionario. J. Calatrava 1998

Estos sistemas son eficientes para distintas permeabilidades del terreno, calculándose los distintos elementos del sistema, mencionados anteriormente, en función de este parámetro entre otros.

La principal ventaja que tienen los sistemas de drenaje mediante drenes es su facilidad de ejecución y simpleza del sistema. Su uso más habitual es su colocación para impedir

la llegada del agua a los sótanos en edificios de nueva planta, sin embargo, también son usados con frecuencia en obras de rehabilitación, controlando la llegada del agua freática de manera eficaz. Por el contrario, es un sistema que, al estar enterrado en el trasdós del muro, su mantenimiento se antoja complicado, por lo que la correcta ejecución adquiere una mayor importancia.

Pozos Profundos

El sistema de pozos profundos consiste en la perforación del terreno para la creación del pozo, con diámetro lo suficientemente grande como para alojar una bomba sumergida en su interior (Calavera Ruiz, 1998, p. 55). El agua es expulsada a mediante esta bomba a través de una tubería que irá conectada un colector que una las distintas bombas colocadas o directamente al punto de desagüe en el caso de que solo exista un único pozo.

Sirve para suelos con una permeabilidad alta, con coeficientes de permeabilidad $k > 10^{-4}$ cm/s, permitiendo eliminar grandes caudales de agua y, por tanto, realizar un gran rebajamiento del nivel freático (Jaramillo Morilla, s. f.).

Aunque en la teoría se establece un rebajamiento máximo de 10m, en la práctica no existe un límite de profundidad con este sistema (Calavera Ruiz, 1998, p. 55).

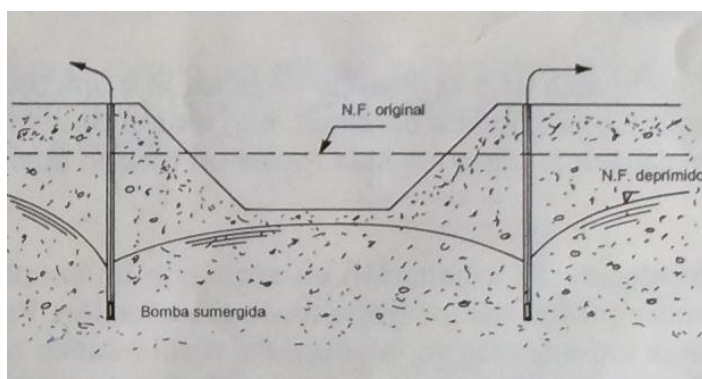


Ilustración 23. Esquema de rebajamiento del nivel freático con pozos profundos. J. Calavera 1998

Para realizar un rebajamiento del nivel freático en un área de grandes dimensiones será necesaria la colocación de varios pozos que interaccionen entre ellos. En función de la permeabilidad del terreno variará la distancia entre pozos, colocándose a una menor distancia en terrenos poco permeables, mientras que en suelo permeables se dispondrán con una mayor separación (Jaramillo Morilla, s. f.).

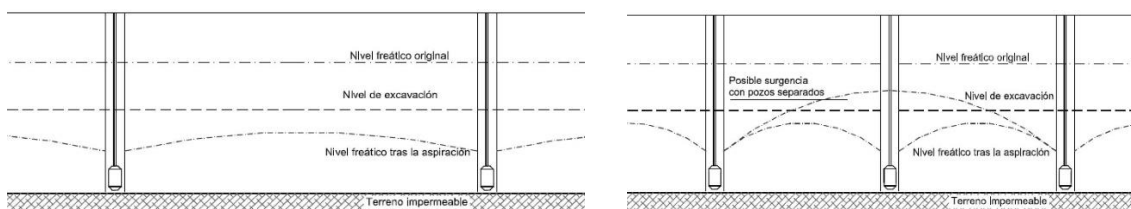


Ilustración 24. Distancia entre pozos según permeabilidad del terreno. Izda. terrenos permeables. Dcha. terrenos poco permeables. Jaramillo Morilla, s.f.

El sistema de rebajamiento mediante pozos profundos se ejecuta mediante perforaciones en el terreno, donde posteriormente se coloca un tubo filtrante y, si es necesario, se rellenan con un material granular, generalmente grava y arena recubriendo el tubo, pero permitiendo dejar pasar el agua. En función del caudal a bombear variará el diámetro del pozo (Muzás Labad, 2007b, p. 934). Seguidamente esta agua es aspirada por la bomba y enviada a través del tubo de circulación hacia el punto de desagüe.

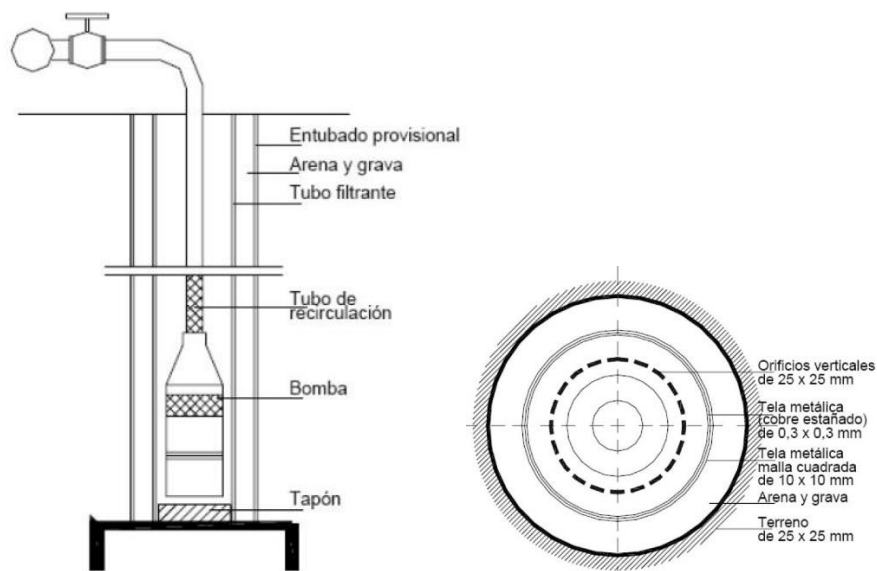


Ilustración 25. Capas que conforman el sistema de pozo profundo. Jaramillo Morilla, s. f.

Los pozos profundos permiten controlar de una manera muy eficaz el agua en el terreno, siendo totalmente registrable y permitiéndose realizar recambios de bombas en el caso de fallo. Se utilizan, especialmente, para evitar que el agua entre en una excavación que se esté realizando bajo el nivel freático. La desventaja que presenta, más que el rendimiento del sistema es el número de componentes y equipos que necesita este, ya que sería necesario un gran número de bombas, arquetas y demás para poder instalar el sistema, por lo que sería una, en primer lugar, una obra de mayor envergadura y con un coste económico alto.

Lanzas de Drenaje "Well Point"

El sistema consiste en la introducción de una serie de tubos de pequeño diámetro en el terreno, conectados a un colector en la superficie a través del cual dos bombas, una de vacío y otra de hinca, las cuales aspiran el agua subterránea llevándola al alcantarillado o desagüe.

Es idóneo para terrenos con coeficiente de permeabilidad entre 10^{-4} cm/s y 10^{-7} cm/s, aunque existen discrepancias entre los distintos autores en cuanto al rango de estos coeficientes. Sin embargo, coinciden en que es ideal para suelos formados por arenas finas, limos y arcillas, es decir, de grano fino (Calavera Ruiz, 1998, p. 56), sin embargo, algunos fabricantes recomiendan este sistema para terrenos granulares de hasta 10^{-3} cm/s.

Permite rebajar entre 5 y 7 metros la cota del nivel freático, en función del tipo de terreno, la permeabilidad de este y el caudal a aspirar. En el caso de querer disminuir más el nivel freático se pueden realizar varios niveles de bombeo (Calavera Ruiz, 1998, p. 55). Este método es recomendable para rebajamientos de nivel de poca altura, recintos de pequeñas y medianas dimensiones y en suelos estratificados con baja permeabilidad (Jaramillo Morilla, s. f.).

Los elementos que conforman el sistema son:

- Lanzas de drenaje. Tubos flexibles o de acero, de longitud variable y con una sección de entre 50 y 100mm, se encargan de conducir el agua freática hasta el colector.

- Colector. Tubo al cual se conectan las lanzas de drenaje. Totalmente estanco, conduce el agua hasta la bomba de vacío, y seguidamente, hasta el alcantarillado o desagüe.

- Bomba de vacío. Combina una bomba de vacío, un depósito separador de la mezcla aire-agua y una bomba de agua. Absorbe el agua subterránea y le hace circular.

- Bomba de hincá. Introducen agua a presión para el hincado de las lanzas mediante la inyección de agua a través de la lanza, desplazando el terreno en la punta y haciendo que esta descienda.

(Figueres Fabra, 2005)

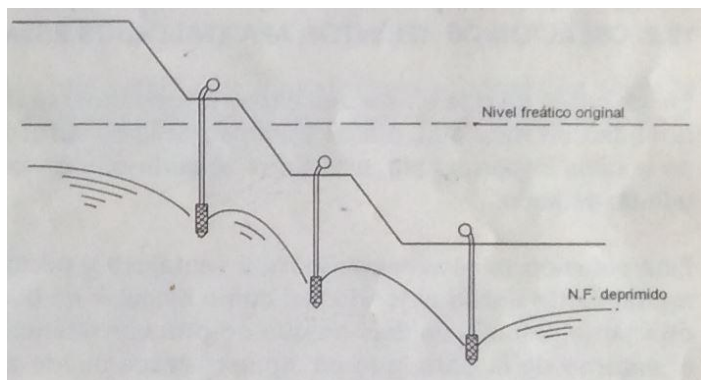


Ilustración 26. Esquema de rebajamiento de nivel freático con lanzas de drenaje. J. Calavera 1998

Para casos en los que el suelo sea granular, con coeficientes de permeabilidad de entre 10^{-3} cm/s y 10^{-5} cm/s las lanzas de drenaje podrán ser colocadas directamente.

Sin embargo, para suelos de grano fino, como arcillas o limos, se recomienda instalar pozos drenantes, con el fin de que los finos no entren en las lanzas. Estos pozos estarán rellenos con gravas salvo la zona más superficial, que se rellenará con un suelo de grano fino para evitar la entrada de aire en las lanzas (ISCHEBECK IBÉRICA, s. f.). En estos pozos se introducirán las lanzas, como aparece en la Ilustración 16.

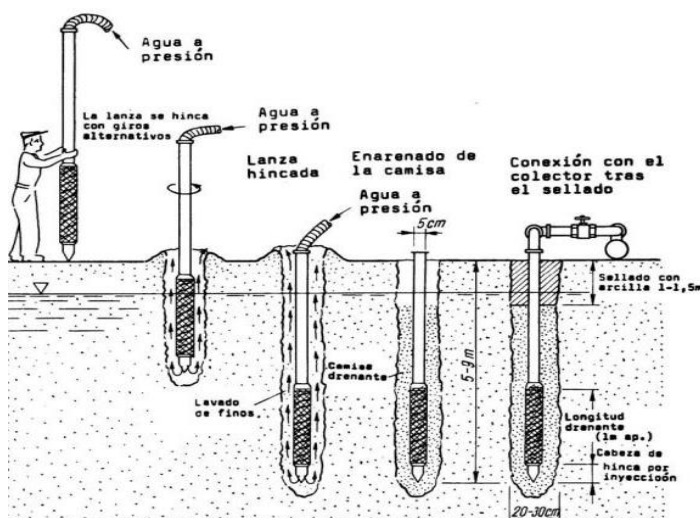


Ilustración 27. Hincado de una lanza de drenaje para aplicación en vacío (Según Széchy, 1965. Cortesía de Springer ed.)

Cámaras de aireación

Las cámaras de aireación son sistemas en los cuales se construye una cámara lateral de grandes dimensiones por el trasdós del muro con una doble función, realizar una ventilación controlada de los muros de sótano evitando que la humedad de capilaridad ascienda al entrar en equilibrio con el exterior, expulsando esa agua hacia la propia cámara, y la retirada y conducción de esta hacia un punto de desagüe mediante una canaleta en la base de la cámara (Ortega Andrade, 1994, p. 122). Por tanto, evaporan el agua del muro y la expulsan al alcantarillado.

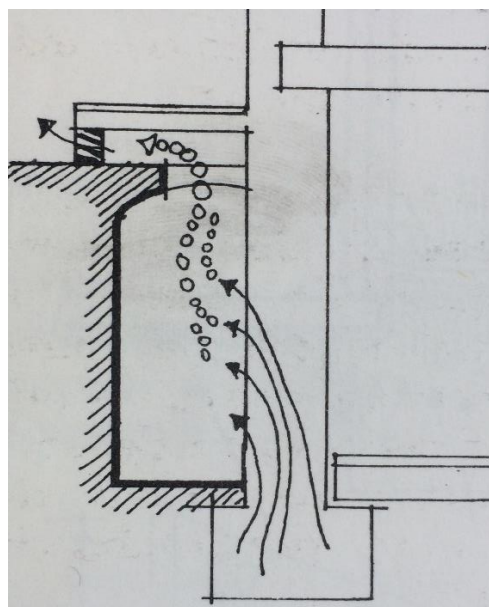
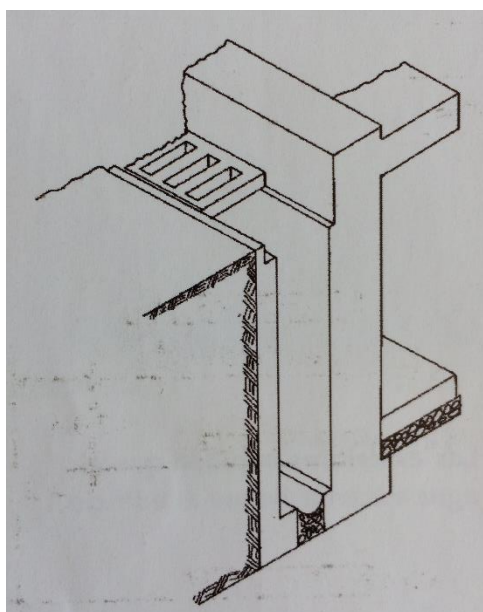


Ilustración 28. Esquema de funcionamiento de la cámara de aireación. Lozano Martínez Luengas, Lozano Apolo, & Coz Díaz, 2006 y Ortega Andrade, 1994.

Para que el sistema funcione es imprescindible que la galería tenga aberturas en su parte superior que permitan la extracción del vapor de agua acumulado en este, ya que si esta ventilación no fuera la suficiente la cámara perdería toda su eficacia.

Las galerías de aireación, si son de suficiente tamaño, permiten su mantenimiento al ser totalmente registrable, por lo que esto supone una gran ventaja respecto a otros sistemas. Sin embargo, suelen presentar problemas por la poca eficiencia de la extracción natural del aire del interior de la cámara, provocando un ambiente húmedo en el interior de este. Es por esto por lo que es necesario un diseño correcto de la cámara junto con las rejillas de extracción en función del caudal de aire a extraer y de la canaleta de evacuación de aguas, para evitar futuros problemas.

El mayor inconveniente de este sistema es la construcción de la cámara, siendo necesario colocar elementos de contención para evitar que esta se derrumbe. Por tanto, su ejecución se antoja compleja y costosa.

2.6. ELECCIÓN Y CÁLCULO DE DRENAJE

Elección de Sistema

Para elegir el sistema de drenaje más adecuado para nuestro caso seguiremos el siguiente procedimiento:

- Establecer el tipo de suelo.
- Hallar coeficiente de permeabilidad para el suelo especificado.
- Elección del posible sistema mediante tablas y la normativa CTE-DB-HS.
- Estudio del entorno del edificio para ayuda en la elección definitiva.

En primer lugar, estableceremos de forma concreta el tipo de suelo en el que se realizará el drenaje. Según el informe de Vorsevi S.A. y el levantamiento del estado actual, con la introducción de la planta de la cripta, la cimentación del edificio se encuentra sobre una capa de rellenos. Estos datos proceden de los distintos sondeos en los cuales se toman muestras para estudiar en el laboratorio y establecer de qué suelo se trata. Observamos y utilizamos dichos sondeos para establecer una clasificación de suelo más específica, en concreto, observamos el sondeo 1.

PETICIONARIO:										SONDEO: S-1									
SITUACIÓN: IGLESIA COLEGIAL DEL DIVINO SALVADOR										SONDA: ISSA CANARIAS									
POBLACIÓN: SEVILLA										SUPERVISOR: D ^a . ELENA ALBA									
FECHA: 03-09 DE NOVIEMBRE DE 2.000										ESCALA: 1:130									
COTA(2):																			
Escala 1:130	Profundidad (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)	Perforación (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70
1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80
6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20	10.20
11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60	12.60
2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75	14.75
5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00

Ilustración 29. Sondeo 1. Vorsevi. S.A.

En este sondeo se describen las propiedades de los distintos tipos de suelos a partir de una serie de muestras extraídas a distintas cotas, desde el nivel superficial hasta llegar al suelo impermeable, las margas. Nos quedamos con las tres primeras muestras (cotas 2.50, 7.20 y 10.30) debido a que son las que mayor influyen en nuestro caso al ser las cotas sobre las que se podrá situar el futuro drenaje.

Se determina que, debido a esas propiedades, son **suelos del tipo SC y CL**, es decir, arena arcillosa y arcillas. Sin embargo, utilizaremos la clasificación de Casagrande para los tipos de suelos con el fin de establecer con mayor precisión el tipo de suelo.

Se realiza ensayo granulométrico y se ve lo que pasa por T200.	Pasa mas del 50% por T200. El suelo es de grano fino (ARCILLA, LIMO U ORGANICO).	En el gráfico de Casagrande el suelo está por encima de la línea A. Se comprueba su límite líquido		WL>50	Arcilla alta plasticidad	CH
				WL<50	Arcilla baja plasticidad	CL
		En el gráfico de Casagrande el suelo está por debajo de la línea A. Se comprueba si es orgánico o no.	El suelo no es de procedencia orgánica. Se comprueba su límite líquido.	WL>50	Limo alta plasticidad	MH
			El suelo es de procedencia orgánica. Se comprueba su límite líquido	WL<50	Limo baja plasticidad	ML
	Pasa menos de un 50% por tamiz T200. El suelo es de grano grueso (GRAVA O ARENA).	De lo que queda en T200 pasa más del 50% por T4 (ARENA). Se comprueba lo que pasa por T200.	Pasa menos del 5% por T200 (ARENA LIMPIA). Se comprueba que cumple simultáneamente las dos condiciones Cu>4 y 1<Cc<3	Si	Arena limpia bien graduada	SW
				No	Arena limpia pobremente graduada	SP
			Pasa de un 5 a un 12% por T200 (ARENA INTERMEDIA). Se comprueba que:	1. Si	Arena intermedia bien graduada arcillosa	SW-SC
				2. Arcilla	Arena intermedia bien graduada limosa	SW-SM
			1.-Cumple simultáneamente las dos condiciones: Cu>4 y 1<Cc<3	1. No	Arena intermedia pobremente graduada arcillosa	SP-SC
				2. Arcilla	Arena intermedia pobremente graduada limosa	SP-SM
		2.-Se realizan límites de Atterberg a la parte fina.	1. No	Arena intermedia pobremente graduada limosa	SP-SM	
			2. Limo			
		Pasa más del 12% por T200 (pero siempre menos del 50%) (ARENA SUCIA). Se realizan límites de Atterberg a la parte de finos.	Arcilla	Arena sucia arcillosa	SC	
			Limo	Arena sucia limosa	SM	
		De lo que queda en T200 pasa menos del 50% por T4 (GRAVA). Se comprueba lo que pasa por T200	Pasa menos del 5% por T200 (GRAVA LIMPIA). Se comprueba que cumple simultáneamente las dos condiciones: Cu>6, 1<Cc<3	Si	Grava limpia bien graduada	GW
				No	Grava limpia pobremente graduada	GP
			Pasa del 5 al 12% por T200 (GRAVA INTERMEDIA). Se comprueba que:	1. Si	Grava intermedia bien graduada arcillosa	GW-GC
				2. Arcilla	Grava intermedia bien graduada limosa	GW-GM
			1.-Cumple simultáneamente las dos condiciones: Cu>6 y 1<Cc<3	1. Si	Grava intermedia pobremente graduada arcillosa	GP-GC
				2. Arcilla	Grava intermedia pobremente graduada limosa	GP-GM
			2.-Se realizan límites de Atterberg a la parte fina.	1. Si	Grava intermedia pobremente graduada limosa	GP-GM
				2. Limo		
Pasa más de un 12% por tamiz 200 (pero menos del 50%) (GRAVA SUCIA) Se realizan límites Atterberg a la parte de finos	Arcilla		Grava sucia arcillosa	GC		
	Limo		Grava sucia limosa	GM		

SUELOS TURBOSOS. TURBA						PT
------------------------	--	--	--	--	--	----

Tabla 2. Clasificación de suelos según Casagrande

Obtenemos los siguientes tipos de suelo:

	% que pasa		Índice de Plasticidad	Límite Líquido	U.S.C.S	Tipo de Suelo
	T4	T200				
Cota 2.50	87.10	49.70	9.60	29.90	SC	Arena sucia Arcillosa
Cota 7.20	67.80	50.10	9.20	26.50	CL	Arcilla (baja plasticidad)
Cota 10.30	100	76.40	11.90	31.30	CL	Arcilla (baja plasticidad)

Tabla 3. Determinación de las características del suelo

Una vez hallado el suelo en el que nos encontramos, pasamos a establecer el coeficiente de permeabilidad del terreno. Se trata de uno de los valores de mayor relevancia tanto para elegir el sistema de drenaje como para realizar su cálculo. En el informe de Vorsevi S.A. se realizaron múltiples ensayos del terreno, sin embargo, no hubo ninguno que determinara dicho coeficiente. Por ello, utilizaremos como dato el tipo de suelo en el que nos encontramos. Estimaremos el coeficiente a través de tablas con los valores usuales para cada tipo de suelo.

En la siguiente tabla encontramos el orden de magnitud del coeficiente de permeabilidad K en función del tipo de terreno (Muzás Labad, 2007a, p. 105):

TIPO DE SUELO	COEF. PERMEABILIDAD
Gravas Medias	5 a 10 cm/seg
Gravas Finas	5 a 10 x 10 ⁻¹ cm/seg
Gravas Arenosas	1 a 100 x 10 ⁻² cm/seg
Arena con Grava	1 a 10 x 10 ⁻³ cm/seg
Arenas Medias	1 a 10 x 10 ⁻⁴ cm/seg
Arena Limosa	5 a 50 x 10⁻⁵ cm/seg
Limos Arenosos	5 a 10 x 10 ⁻⁶ cm/seg
Limos Arcillosos	5 a 10 x 10 ⁻⁷ cm/seg
Arcillas	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁸ cm/seg

Tabla 4. Orden de magnitud del coeficiente de permeabilidad en función del tipo de terreno

La causa de los grandes intervalos entre cada tipo de terreno, de la escala de 10, nos hace pensar sobre la variabilidad del comportamiento del agua en el terreno, incluso dentro de la misma capa de suelo.

Nos encontramos en un suelo con arenas arcillosas, debido a que estas no aparecen en las tablas que reflejan el orden de magnitud de la permeabilidad para ese suelo, las asemejaremos a unas arenas limosas, obteniendo, además, un caso más desfavorable.

El coeficiente de permeabilidad varía, de esta forma, entre 5 x10⁻⁵ cm/s y 50 x10⁻⁵cm/s, utilizando el mayor posible al ser el más desfavorable al permitir pasar más cantidad de agua al ser más permeable, es decir, utilizaremos como valor definitivo de **coeficiente de permeabilidad 5 x10⁻⁵ cm/s**.

Una vez establecidos el tipo de suelo y el coeficiente de permeabilidad escogeremos el sistema más adecuado para este tipo de suelo, basándonos en tablas y en la normativa del CTE-DB-SE-HS.

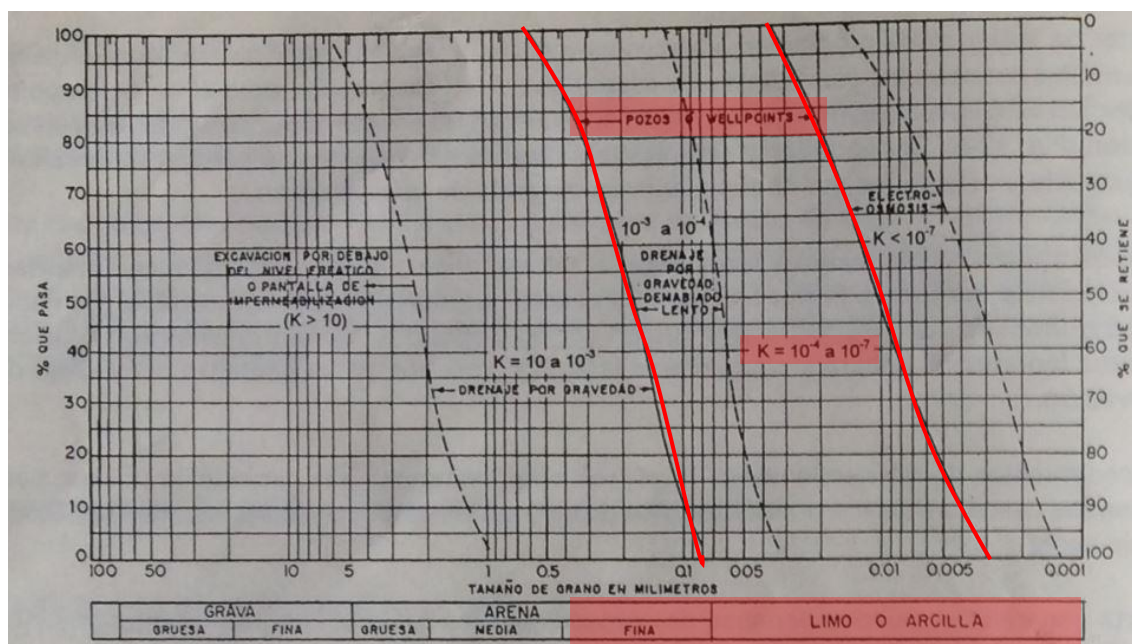


Tabla 5. Sistema de drenaje en función del tipo de suelo. J. Calavera. 1998

Debido a que nos encontramos en suelo de arena arcillosa y que el coeficiente de permeabilidad es de 5×10^{-5} cm/s, nos encontramos en la franja que abarca desde 10^{-4} a 10^{-7} cm/s. Por tanto, los sistemas más adecuados para este tipo de terreno, según este método, serían los pozos profundos y los wellpoints, pudiéndose utilizar también sistemas de drenaje por gravedad lento para este tipo de suelo.

A continuación, utilizaremos el método de la normativa vigente para la elección de la protección mínima frente a la humedad en muros de sótano, correspondiente al CTE-DB-HS apartado 1.

En primer lugar, establecemos el grado de impermeabilidad a partir de la siguiente tabla, en función del coeficiente de permeabilidad del terreno y de la presencia de agua. El coeficiente es de 10^{-5} cm/s. Según la norma, La presencia de agua se considera baja cuando la cara inferior del suelo en contacto con el terreno se encuentra por encima del nivel freático; media cuando la cara inferior del suelo en contacto con el terreno se encuentra a la misma profundidad que el nivel freático o a menos de dos metros por debajo; alta cuando la cara inferior del suelo en contacto con el terreno se encuentra a dos o más metros por debajo del nivel freático (España. Ministerio de Fomento, 2009, p. 10). En nuestro caso, al estar más de dos metros por debajo de la cota freática, consideramos una presencia alta de agua. Con estos datos entramos en la tabla:

Presencia de agua	Coeficiente de permeabilidad del terreno		
	$K_s \geq 10^{-2}$ cm/s	$10^{-5} < K_s < 10^{-2}$ cm/s	$K_s \leq 10^{-5}$ cm/s
Alta	5	5	4
Media	3	2	2
Baja	1	1	1

Tabla 6. Grado de impermeabilidad mínimo exigido a muros de sótano. CTE-DB-HS1

Por tanto, el **grado de impermeabilidad será de 4**. Con este dato, y teniendo en cuenta que nos encontramos ante un muro de gran espesor que funciona como muro de

gravedad, obtenemos las condiciones de impermeabilización del muro a partir de la siguiente tabla:

		Muro de gravedad			Muro flexorresistente			Muro pantalla		
		Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco	Imp. interior	Imp. exterior	Parcialmente estanco
Grado de impermeabilidad	≤1	I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C1+I2+D1+D5	I2+I3+D1+D5	V1	C2+I2+D1+D5	C2+I2+D1+D5	
	≤2	C3+I1+D1+D3 ⁽³⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C3+I1+D1+D3	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤3	C3+I1+D1+D3 ⁽³⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C3+I1+D1+D3 ⁽²⁾	I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤4		I1+I3+D1+D3	D4+V1		I1+I3+D1+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1
	≤5		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1 ⁽¹⁾		I1+I3+D1+D2+D3	D4+V1	C1+C2+I1	C2+I1	D4+V1

(1) Solución no aceptable para más de un sótano.
(2) Solución no aceptable para más de dos sótanos.
(3) Solución no aceptable para más de tres sótanos.

Tabla 7. Condiciones de las soluciones de impermeabilización de muro

La solución según la norma son **I1+I3+D1+D3**, que corresponden a las siguientes características (España. Ministerio de Fomento, 2009, pp. 11-12):

I1: La impermeabilización debe realizarse mediante la colocación en el muro de una lámina impermeabilizante, o la aplicación directa in situ de productos líquidos, tales como polímeros acrílicos, caucho acrílico, resinas sintéticas o poliéster. Si se impermeabiliza exteriormente con lámina, cuando ésta sea adherida debe colocarse una capa antipunzonamiento en su cara exterior y cuando sea no adherida debe colocarse una capa antipunzonamiento en cada una de sus caras. En ambos casos, si se dispone una lámina drenante puede suprimirse la capa antipunzonamiento exterior. Si se impermeabiliza mediante aplicaciones líquidas debe colocarse una capa protectora en su cara exterior salvo que se coloque una lámina drenante en contacto directo con la impermeabilización. La capa protectora puede estar constituida por un geotextil o por mortero reforzado con una armadura.

I3: Cuando el muro sea de fábrica debe recubrirse por su cara interior con un revestimiento hidrófugo, tal como una capa de mortero hidrófugo sin revestir, una hoja de cartón-yeso sin yeso higroscópico u otro material no higroscópico.

D1: Debe disponerse una capa drenante y una capa filtrante entre el muro y el terreno o, cuando existe una capa de impermeabilización, entre ésta y el terreno. La capa drenante puede estar constituida por una lámina drenante, grava, una fábrica de bloques de arcilla porosos u otro material que produzca el mismo efecto.

D3: Debe colocarse en el arranque del muro un tubo drenante conectado a la red de saneamiento o a cualquier sistema de recogida para su reutilización posterior y, cuando dicha conexión esté situada por encima de la red de drenaje, al menos una cámara de bombeo con dos bombas de achique.

La solución que propone la normativa para nuestro caso, de acuerdo con la condición D3, es la colocar un sistema de drenaje mediante una tubería perimetral. La norma contempla el uso de pozos profundos para casos más desfavorables, con grado de impermeabilidad 5 con la condición D4, debido a que el caudal de agua a expulsar es mayor y se requieren mayores medidas de protección:

Debe disponerse un pozo drenante por cada 800 m² en el terreno situado bajo el suelo. El diámetro interior del pozo debe ser como mínimo igual a 70 cm. El pozo debe disponer de una envolvente filtrante capaz de impedir el arrastre de finos del terreno. Deben disponerse dos bombas de achique, una conexión para la evacuación a la red de saneamiento o a cualquier sistema de recogida para su reutilización posterior y un dispositivo automático para que el achique sea permanente.

(España. Ministerio de Fomento, 2009, pp. 11-12)

Por último, estudiamos el entorno en el que se encuentra el edificio. Las principales características relevantes para el estudio es la calle donde se realizará el drenaje, es decir, la calle Villegas-Cuesta del Rosario. Esta tiene un ancho total de 8.4 metros, con una acera de 2.5 metros de ancho y una pendiente del 2%. Cabe destacar que la continuación de esta calle por la Cuesta del Rosario es una de las que mayor pendiente tiene en Sevilla, al llegar a la cota más alta de la ciudad, por tanto, la evacuación de agua será muy favorable debido a la pendiente natural de esta.

Una vez elegido los posibles sistemas (pozos profundos, wellpoints y tuberías de drenaje) nos decantamos finalmente por el **sistema de tuberías de drenaje**, debido a que, de la misma manera que establece la norma, por la permeabilidad del terreno en el que nos encontramos la cantidad de agua a evacuar puede ser asumible mediante una tubería de drenaje situada en el perímetro.

Cálculo y Aplicación del Sistema de Drenaje

Para realizar el sistema de drenaje seguiremos el siguiente procedimiento:

- Cálculo del caudal y diámetro de la tubería, mediante las fórmulas aportadas por J. Calavera y F. Muzás.
- Búsqueda y selección de producto con dimensionado del fabricante.
- Elaboración del trazado del sistema de drenaje y sección tipo.

- **Cálculo del caudal y diámetro**

Para calcular el caudal de agua a evacuar establecemos la situación de cálculo en la que nos encontramos. En nuestro caso, las dos posibles situaciones son las siguientes:

-a) Zanja completa (alcanzando una capa impermeable) en acuífero libre, en régimen estacionario.

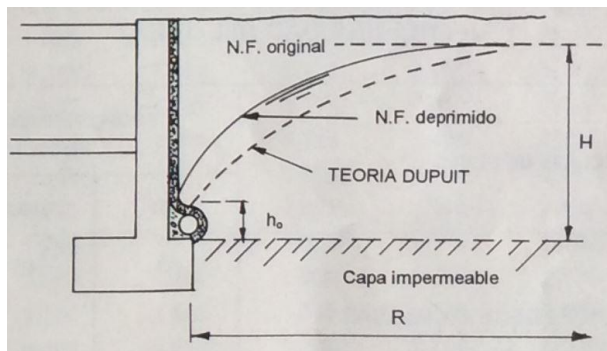


Ilustración 30. Esquema de Zanja Completa en acuífero libre, en régimen estacionario.

$$Q = K_s \frac{H^2 - h_0^2}{2R}$$

Ecuación 1. Fórmula para zanja completa en acuífero libre, en régimen estacionario

Siendo:

- K_s , el coeficiente de permeabilidad del suelo (m/s).
- H , la altura inicial del nivel freático (m).
- h_0 , la altura de agua en el elemento drenante, que puede suponerse 0.
- R , es el radio de acción, que vendrá dado por la distancia de la zona de recarga del acuífero (m).

-b) Zanja incompleta (cuyo fondo no alcanza el terreno impermeable) en acuífero libre, en régimen estacionario.

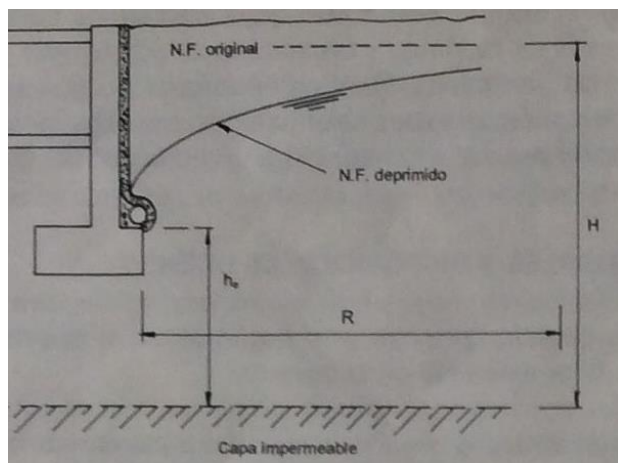


Ilustración 31. Esquema de Zanja Incompleta en acuífero libre, en régimen estacionario.

$$Q = \left(0.73 + 0.27 \frac{H - h_0}{H}\right) \cdot \frac{K_s}{2R} (H^2 - h_0^2)$$

Ecuación 2. Fórmula para zanja incompleta en acuífero libre, en régimen estacionario

Siendo:

- K_s , el coeficiente de permeabilidad del suelo (m/s).
- H , la altura inicial del nivel freático respecto al inicio de la capa impermeable (m).
- h_0 , la altura de agua en el elemento drenante respecto al inicio de la capa impermeable (m).
- R , es el radio de acción, que vendrá dado por la distancia de la zona de recarga del acuífero (m).

Una vez conocida las dos situaciones posibles estudiamos el caso de la Iglesia del Salvador, teniendo el siguiente esquema:

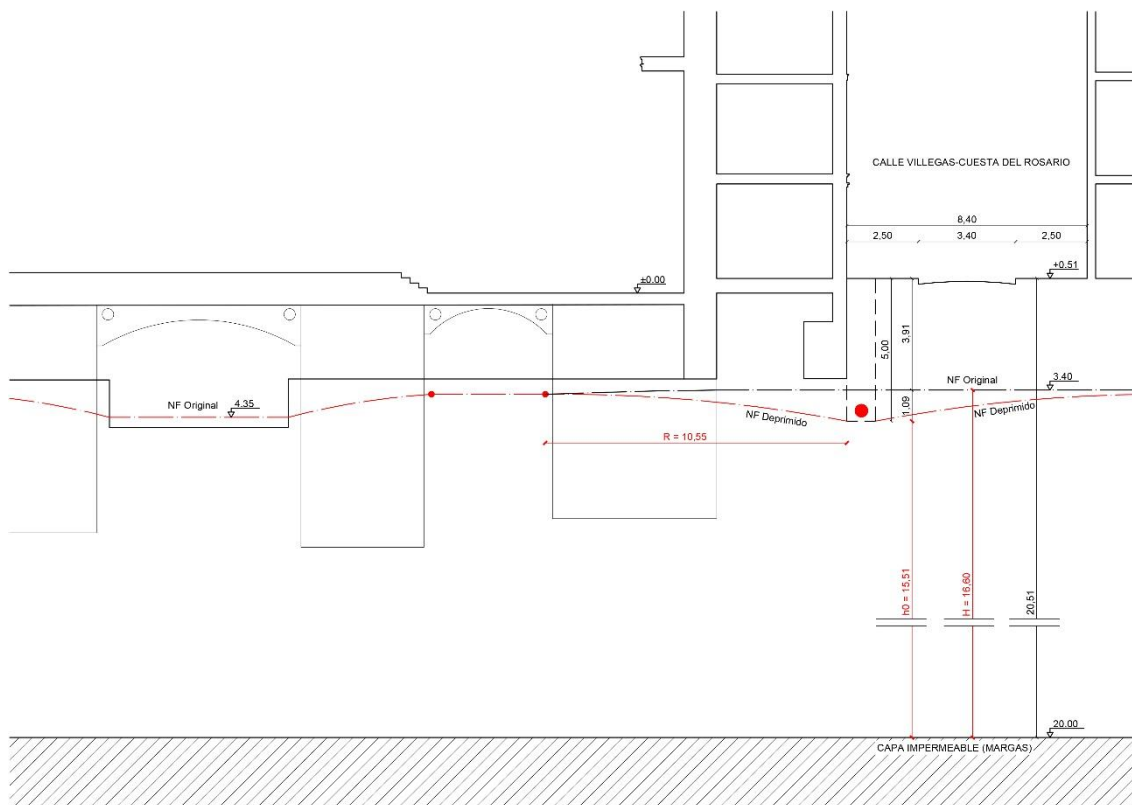


Ilustración 32. Esquema de descenso del NF

Como podemos observar, nos encontramos en la situación b) Zanja incompleta en acuífero libre, en régimen estacionario, debido a que la zanja no alcanza la capa impermeable, considerada en la capa de las Margas (cota -20,00m). Por tanto, utilizaremos la fórmula correspondiente a esta situación.

Para ello, introducimos la Ecuación 2 en una tabla de cálculo, con los siguientes datos:

$$-K_s = 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s} = 5 \times 10^{-7} \text{ m/s.}$$

$$-H = 16.60 \text{ m.}$$

$$-H_0 = 15.51 \text{ m.}$$

$$-R = 10.55 \text{ m. (Calculado gráficamente)}$$

DATOS			
Altura NF a capa impermeable H (metros)	Altura entre bomba y capa impermeable h ₀ (metros)	Distancia desde bomba a depresión NF R (metros)	Coficiente de Permeabilidad K (m/sg)
16,60	15,51	10,55	5,00E-07
RESULTADOS			
Caudal Q (m ³ /sg·m)	Caudal Q (litros/min·m)	Caudal Q (l/h·m)	
0,00000062	0,037	2,233	

Tabla 8. Cálculo del Caudal de Drenaje

Para una zanja de 65.4 m de longitud:

$$Q = 2.233 \text{ l/h} \cdot \text{m} \cdot 65.4 \text{ m} = 146.04 \text{ l/h}$$

Pasamos a litros/segundos:

$$Q = \frac{146.04 \text{ l/h}}{60 \text{ min} \cdot 60 \text{ seg}} = 0.041 \text{ litros/seg}$$

Se observa que el caudal es sustancialmente bajo, debido principalmente al valor tan pequeño del coeficiente de permeabilidad, siendo un terreno muy impermeable en el que el agua transcorre a muy baja velocidad por este.

A continuación, calculamos el diámetro necesario para abarcar este caudal. Para ello, en primer lugar, establecemos la velocidad a la que pasará el agua por el tubo según la fórmula de Manning, suponiendo un diámetro, y con esa velocidad y diámetro calcularemos el caudal que evacúa:

$$v \text{ (m/s)} = k \frac{D^{2/3} \cdot J^{1/2}}{252}$$

Ecuación 3. Fórmula de Manning para el cálculo de la velocidad en un conducto

$$Q \text{ (l/s)} = v \frac{\pi \cdot D^2}{4} 1000$$

Ecuación 4. Fórmula para cálculo del caudal de conducto

Siendo:

-Q, caudal del conducto en litros/segundos

- v, la velocidad de circulación (debe estar entre 0.3 y 8 m/s en tubos de plástico)
- D, el diámetro (mm en Ecuación 3 y m en Ecuación 4)
- J, la pendiente del conducto
- k, coeficiente de rugosidad, 120 para tubos de plástico con superficie interior lisa y 90 para tubos de plástico con superficie interior corrugada.

Supondremos un tubo de superficie interior lisa, de diámetro 100mm y una pendiente del 2%

$$v \left(\frac{m}{s} \right) = k \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}}}{252} = 120 \cdot \frac{100^{\frac{2}{3}} \cdot 0.02^{\frac{1}{2}}}{252} = 1.45 m/s (> 0.3 m/s \text{ y } < 8 m/s)$$

Calculamos el caudal con ese diámetro y velocidad

$$Q \left(\frac{l}{s} \right) = 1.45 \frac{\pi \cdot 0.1^2}{4} 1000 = 11.39 \frac{l}{s} > 0.041 \frac{l}{s}$$

Por tanto, utilizando una tubería de drenaje de 100mm de diámetro y con un 2% de pendiente evacuamos de manera holgada los 0.041 l/s necesarios.

- **Búsqueda y selección de producto con dimensionado del fabricante**

En este apartado seleccionaremos un producto real que se ajuste a los requerimientos anteriormente calculados, es decir, que sea capaz de evacuar 0.041 l/s.

Escogemos una Tubería de drenaje de PVC ranurada corrugada circular de doble pared, de Adequa®, Grupo Uralita. Se trata del mismo fabricante que colocó los drenajes en la restauración del año 2003 en el Salvador, según el Libro del Edificio, obtenido para la realización del presente trabajo.



Ilustración 33. Fabricante de Tubería de Drenaje

Esta tubería presenta una superficie interior lisa, al igual que en cálculo realizado en el apartado anterior.

Para dimensionar el tubo, se utiliza una tabla en la cual el caudal viene dado en función de la pendiente y del diámetro (Adequa. Grupo Uralita, 2007). Este caudal deberá ser mayor que 0.041 l/s, calculado anteriormente:

**CAUDAL MÁXIMO DE CALADO EN LITROS / SEGUNDO,
(l/s)
según pendiente (%)**

DN	P E N D I E N T E					
	0,5%	1%	1,5%	2%	3%	5%
100	6,10	8,82	10,91	12,69	15,68	20,43
160	13,34	19,23	23,77	27,61	34,07	44,33
200	27,51	39,58	48,88	56,73	69,93	90,90
250	49,65	71,32	88,00	102,09	125,76	163,35
315	79,63	114,24	140,89	163,38	201,16	261,13
400	171,13	245,08	301,97	349,97	430,60	558,55

Tabla 9. Tabla del fabricante para dimensionado de drenaje.

Con una tubería de 100mm de diámetro y una pendiente del 2% se consigue un caudal de 12.69 l/s, mayor que los 0.041 l/s de cálculo. Incluso con la pendiente mínima del 0.5% sería válido el sistema, sin embargo, se utilizará una pendiente del 2% para favorecer la evacuación, además de ser esta la pendiente de la calle en la que nos encontramos.

- **Elaboración del trazado del sistema y sección**

Una vez realizado todos los cálculos, se realiza el trazado por donde se dispondrá el drenaje. Como se ha ido mencionando, se realizará a lo largo del perímetro del edificio, drenando el agua proveniente del exterior.

Sistemas de apoyo al drenaje

Para complementar el sistema de drenaje colocado, e impedir que la humedad pueda ascender por capilaridad por el muro en determinados casos, se propondrán medidas de protección adicionales.

- **Desecación del muro**

Existen diversas técnicas para evitar la ascensión del agua a través de los muros, como barreras químicas, barreras físicas, barreras eléctricas, etc. Para el caso de la Iglesia del

Salvador consideramos más conveniente la utilización de sistemas que, mediante la ventilación del muro, impida que el agua ascienda. Por esto, se propone la introducción del sistema Knapen, muy utilizado en edificios de estas características.

Este sistema consiste en introducir, transversalmente al muro, tubos porosos o higroconvectores. El aire, al entrar en contacto con el ambiente húmedo del tubo, cede calor por evaporación, se enfría aumentando de densidad, resbala por las paredes inclinadas y cae al exterior (Lozano Martínez Luengas et al., 2006, p. 113). Este sistema tiene una influencia de entre 25 y 33cm, siendo colocados en la base del muro.

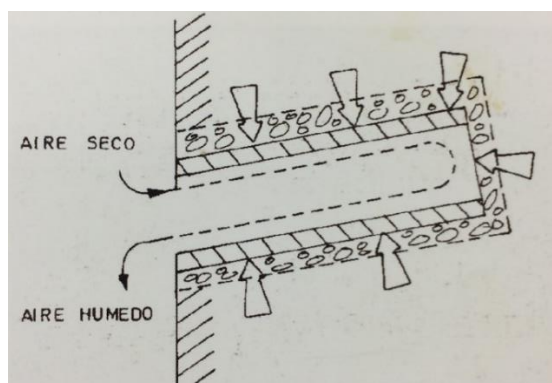


Ilustración 34. Esquema de funcionamiento del sistema Knapen (Lozano Martínez Luengas, 2006).

A continuación, buscaremos un fabricante, para realizar un dimensionado del sistema y poder cuantificarlo. Utilizaremos al fabricante Knapen®.

El procedimiento para su colocación, según este fabricante, es el siguiente:

- 1- Marcar los agujeros donde se van a realizar los taladros.
- 2- Taladrar con diámetro de 18 mm, longitud 2/3 del muro e inclinación hacia arriba de 25 a 30 grados y posterior aspiración del polvo producido por el taladro
- 3- Introducir los higroconvectores y fijarlos con cualquier tipo de pasta: silicona, masilla, etc.

Para paredes con un espesor superior a 40 cm, siendo este el caso, es necesaria una segunda fila a 10-12 cm. por encima, con una distancia de 20 cm. entre los higroconvectores y el suelo. Estos pueden ser colocados al tresbolillo.

Este sistema será colocado únicamente por el interior del muro de sótano de la fachada sur de la Iglesia, al ser esta la fachada que estamos tratando.

El resultado es el siguiente:

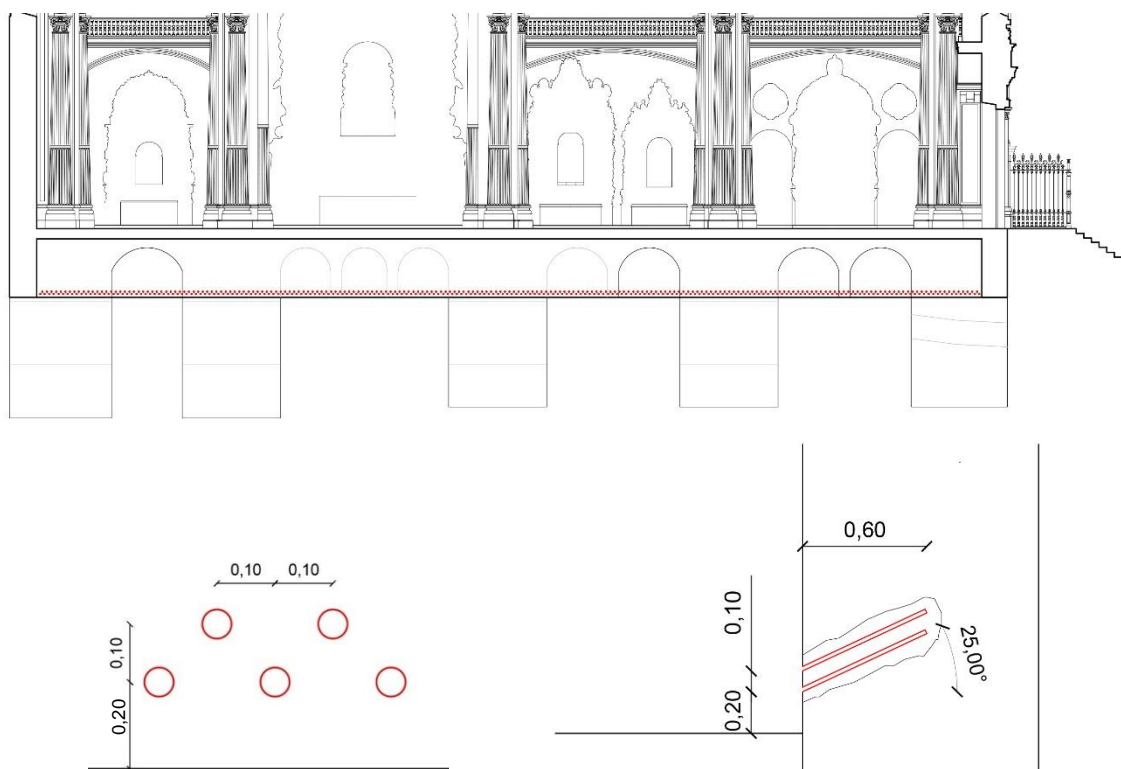


Ilustración 35. Colocación de sistema de desecación Knapen. Alzado interior Sur (arriba) y detalle de colocación (abajo)

En total, para una longitud de muro de 41.9 metros, serán necesario colocar 411 elementos, repartidos en dos filas al tresbolillo, con una separación horizontal de 20cm y una vertical de 20cm desde el suelo y 10cm entre filas. Esto equivaldría a 10 ud/m.

- **Impermeabilización del muro**

Debido al mal estado del revestimiento de la fachada sur, la más afectada y de donde procede el agua que afecta al edificio, con grandes manchas de humedad de más de 3 metros, propondremos la retirada de dicho revestimiento. Se procederá al saneamiento y limpieza del soporte y a la colocación de un mortero hidrófugo específico para este tipo de muros, para evitar la aparición de nuevas manchas de humedad.

Además, la normativa CTE-DB-HS1 nos obliga a colocar un mortero hidrófugo por el interior del muro de sótano, dentro de la solución I3, como vimos en apartados anteriores. Para no cambiar la imagen actual de la cripta de la Iglesia, con ladrillo visto, se procederá al rehundido del mortero actual y a la colocación de uno hidrófugo, sin ningún revestimiento adicional, manteniendo el actual aspecto de dichos muros.

Utilizaremos un mortero hidrófugo SikaMur®, o similar, para realizar el nuevo revestimiento. Las características de este tipo de mortero son su impermeabilidad al exterior, pero facilitando la evaporación de agua del interior de los muros, evitando la formación de eflorescencias y, como se ha mencionado, evitando la aparición de humedades en el paramento.

2.7. ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LA REPARACIÓN

Una vez dimensionado el sistema y todos los accesorios correspondientes realizaremos una cuantificación económica de estos, con el fin de hacer un breve acercamiento al coste que implicaría llevarlo a cabo.

Para ello utilizaremos el Generador de Precios de Cype, para establecer los precios unitarios, y el programa Presto para realizar las correspondientes mediciones y dar el precio de ejecución material definitivo.

Estimación del Presupuesto de Ejecución Material (Desarrollado en Anexos):

-01.1 Excavación de zanja	11.778,54€
-01.2 Eliminación de revestimiento y saneado de soporte exterior	14.448,90€
-02.1 Montaje de tubería de drenaje	1.402,18€
-02.2 Relleno filtrante para zanja	10.285,79€
-02.3 Lámina drenante con geotextil	3.613,35€
-02.4 Impermeabilización por exterior de muro con pinturas asfálticas	2.694,48€
-03.1 Dsecación de muro con higoconvectores	6.149,66€
-03.2 Tratamiento humedades con mortero hidrófugo	6.866,30€
-03.3 Impermeab. interior de muro en contacto con terreno con mortero	1.894,30€

TOTAL: 47.354.96€



Ilustración 36. Imágenes del Generador de Precios de Cype sobre alguna de las actuaciones acometidas.

3. CONCLUSIONES

Una vez llegados al final del trabajo recordamos los inicios de este. Se trataba de un trabajo de gran complejidad y de gran relevancia, al tratarse un problema que sufren tanto los edificios de carácter patrimonial, como un gran número de edificios de menor rango. Entre otras causas, esto se debe a los materiales utilizados tradicionalmente en las construcciones, como son la piedra y los ladrillos, debido a la porosidad de estos. Como consecuencia de la aparición de las humedades se deteriora la imagen de estos edificios, apareciendo lesiones que derivadas de estas



Fotografía 12. Iglesia de Santa Lucía (arriba izquierda), fachada del Parlamento de Andalucía (arriba derecha), naves de las razas (abajo).

La realización del trabajo ha servido para conocer múltiples asuntos con mayor profundidad, como las humedades de capilaridad, los sistemas para reparar estas lesiones, procedimientos de dimensionado, etc. Además, también ha implicado el mayor conocimiento de la Iglesia del Salvador, tanto su historia como las técnicas de reparación usadas en este edificio, como ejemplo o catálogo de restauración de un edificio patrimonial con lesiones de todo tipo, aunque centrándonos en las provocadas por la capilaridad.

Este trabajo pretende ser un procedimiento que aplicar a edificios, históricos o no, con problemas de esta índole, en el que se estudia el edificio, el terreno, técnicas de reparación, dimensionado de la solución óptima y cuantificación económica.

Aunque los comienzos son inciertos, la ayuda y aportes realizados por el tutor han sido esenciales para encaminar el trabajo. La recopilación de documentación de primera mano sobre la restauración realizada en el Salvador, como el informe geotécnico, el libro del edificio y demás bibliografía, y seguidamente con las visitas guiadas a la Iglesia, acompañados por el conservador del Salvador. La gran cantidad de información manejada y tratada le han dado veracidad y fundamento al trabajo, intentando, cumplir el objetivo máximo de proponer una reparación a los problemas de humedad de capilaridad que padece la Iglesia.

En este aspecto, se considera que los objetivos marcados desde el principio se han cumplido en gran parte. Se ha estudiado en profundidad la restauración llevada a cabo en la Iglesia, conociendo de primera mano los problemas que presentaron gracias a la información del estado anterior y a las visitas; con la ayuda de bibliografía se ha seleccionado el sistema de drenaje óptimo para el caso y se ha dimensionado de manera práctica, aportando productos existentes en el mercado que cumplen con las especificaciones marcadas, cuantificando el coste de toda la operación.

Finalmente, tras finalizar el trabajo espero, como autor de este, que sirva de ayuda para la reparación de la Iglesia del Salvador, deseando que pueda realizarse lo antes posible y poder disfrutar de todos los espacios del edificio, especialmente de la cripta como escaparate de la historia del edificio.

4. IDEAS PARA AMPLIAR EL TRABAJO DESARROLLADO

A pesar de que se han cumplido la gran parte de los objetivos del trabajo que han culminado en la propuesta de reparación de la causa de las humedades de capilaridad, existen múltiples puntos donde poder ampliarlo:

- Estudio de medidas de protección frente a la humedad de capilaridad procedente del patio de los naranjos.
- Redacción de proyecto básico y de ejecución para la realización de la reparación mediante el sistema de drenaje adoptado, con memoria, pliego, mediciones y planos.
- Estudio y mejora de la calidad del aire de la cripta con rediseño del sistema de ventilación para expulsar la humedad del aire.
- Monitorización de las condiciones de la cimentación y la cripta.
- Estudio del impacto en los edificios colindantes por el descenso del nivel freático.

5. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Adequa. Grupo Uralita. (2007). Sistema de PVC para drenaje. España.
- Blanco Freijeiro, A. (1984). La ciudad antigua: (de la Prehistoria a los Visigodos). Secretariado de Publicaciones de la Universidad.
- Calavera Ruiz, J. (1998). Drenaje de plantas bajas de edificios y drenaje e impermeabilización de sótanos. Madrid: INTEMAC.
- Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación. (2008). IX Congreso Internacional de Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico y Edificación, Sevilla, 9,10, 11 julio 2008, libro de actas: Patrimonio cultural e innovación (pp. 271-276). [Gran Canaria]: Centro Internacional de Conservación del Patrimonio.
- Corrochano Rubio, J. (2018). Entrevista a Jaime Navarro Casas.
- Ferrer, A. J., Davila, V., & Sahuquillo, A. (2009). Descenso artificial del nivel freático en centros urbanos: Diseño e instalación de una red de control eficiente y sostenible. Minerales.
- Figueres Fabra, V. (2005). Zanjas en terrenos arenosos. Sistema Well Point. Riesgos y Medidas Preventivas (pp. 12-78).
- García Morales, S. (1995). Metodología de diagnóstico de humedades de capilaridad ascendente y condensación higroscópica, en edificios históricos.
- García Morales, S., Collado Gómez, A., & López González, L. (s. f.). Metodología de diagnóstico de humedades: La inspección higrotérmica con ayuda instrumental.
- Gil Muñoz, M. T., & Lasheras, F. (2018). Cámaras de aireación como sistema de control de la humedad de capilaridad en edificios históricos. Análisis de funcionamiento. Informes de la Construcción, 69(548), 233.
- González Fraile, E. M. (2012). Galerías de ventilación para desecar las humedades en los zócalos de los monumentos. Papeles del Patal. Revista de Restauración Monumental, 5, 189-206.
- Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. (s. f.). Iglesia del Divino Salvador.
- ISCHEBECK IBÉRICA. (s. f.). Sistema de agotamiento de agua WellPoint.
- Jaramillo Morilla, A. (s. f.). Temario Asignatura Patología y Recalces en las Cimentaciones.
- Jiménez López, L. (2003). Humedades en la construcción. Barcelona: CEAC.
- Knapen. (s. f.). Instalación Knapen - Método Knapen para eliminar humedades - Suministro de higroconvectores.
- Lozano Martínez Luengas, A., Lozano Apolo, G., & Coz Díaz, J. J. del. (2006). Curso síndrome, patología y terapéutica de las humedades. Gijón: Lozano y Asociados.

Mendoza Castells, F. (2008). La Iglesia del Salvador de Sevilla: biografía de una colegiata: historia, arquitectura y restauración. Sevilla: Tébar.

Monjo Carrió, J. (1997). Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos. Madrid: Editorial Munilla-Lería.

Monumental, I. A. del P. H. B. de R. (2008). Actas III Bienal de Restauración Monumental: sobre la des-Restauración (pp. 371-392). Sevilla: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.

Muñoz Hidalgo, M. (2004). Influencias, daños y tratamientos de las humedades en la edificación. Sevilla: Manuel Muñoz Hidalgo.

Muzás Labad, F. (2007). Mecánica del suelo y cimentaciones. Volumen I y II. Madrid: Fundación Escuela de la Edificación.

Ordóñez Agulla, S., Valor Piechotta, M., Tabales Rodríguez, M. A., Collantes de Terán Salinas, A., & Fernández Sánchez, V. (2002). Edades de Sevilla. Hispalis, Isbiliya, Sevilla. Ayuntamiento de Sevilla.

Ortega Andrade, F. (1994). Humedades en la edificación. Sevilla: Editan.

Preene, M., Roberts, T., & Powrie, W. (2016). Groundwater control: design and practice. Second edition. Ciria.

Sika. (s. f.). Morteros Impermeables | Sika S.A.U.

Torres Balbás, L. (1946). Crónica Arqueológica de la España Musulmana. Al-Andalus, 11, 425-439.

Valencia Cuesta, M. (2010). Curso de introducción a las aguas subterráneas. Tema 8: Diseño de pozos de aguas subterráneas.

Vorsevi S.A. (2001). Estudio de la Iglesia Colegial del Divino Salvador - Sevilla.

NORMATIVA

Código Técnico de la Edificación, Parte 2, Documento Básico - Salubridad (Madrid: Instituto Torroja, CSIC - Ministerio de Fomento, 2009).

Código Técnico de la Edificación, Parte 2, Documento Básico - Seguridad Estructural – Cimentaciones (Madrid: Instituto Torroja, CSIC - Ministerio de Fomento, 2007, revisión 2008).

PRODUCTOS DE REFERENCIA

-Tubería de Drenaje:

Tubo ranurado corrugado circular doble pared adequa®: arco de ranuración 360°

http://adequa.es/category_page/sistema-de-pvc-para-drenaje/

-Impermeabilización exterior muro de sótano:

Igol® -A

<https://esp.sika.com/es/refurbishment-redirect/sika-refurbishment-solutions/02a002/02a002sa51/02a002sa50100/02a002sa51103.html>

-Lámina drenante y geotextil:

Sika® Lam SD-8/SD+

<https://esp.sika.com/es/waterproofing-redirect/sika-waterproofing-solutions/02a015/02a015sa01.html>

-Sifón atmosférico/higroconvectores:

Higroconvectores Knapen

<http://www.knapen.es/instalacion-knapen.html>

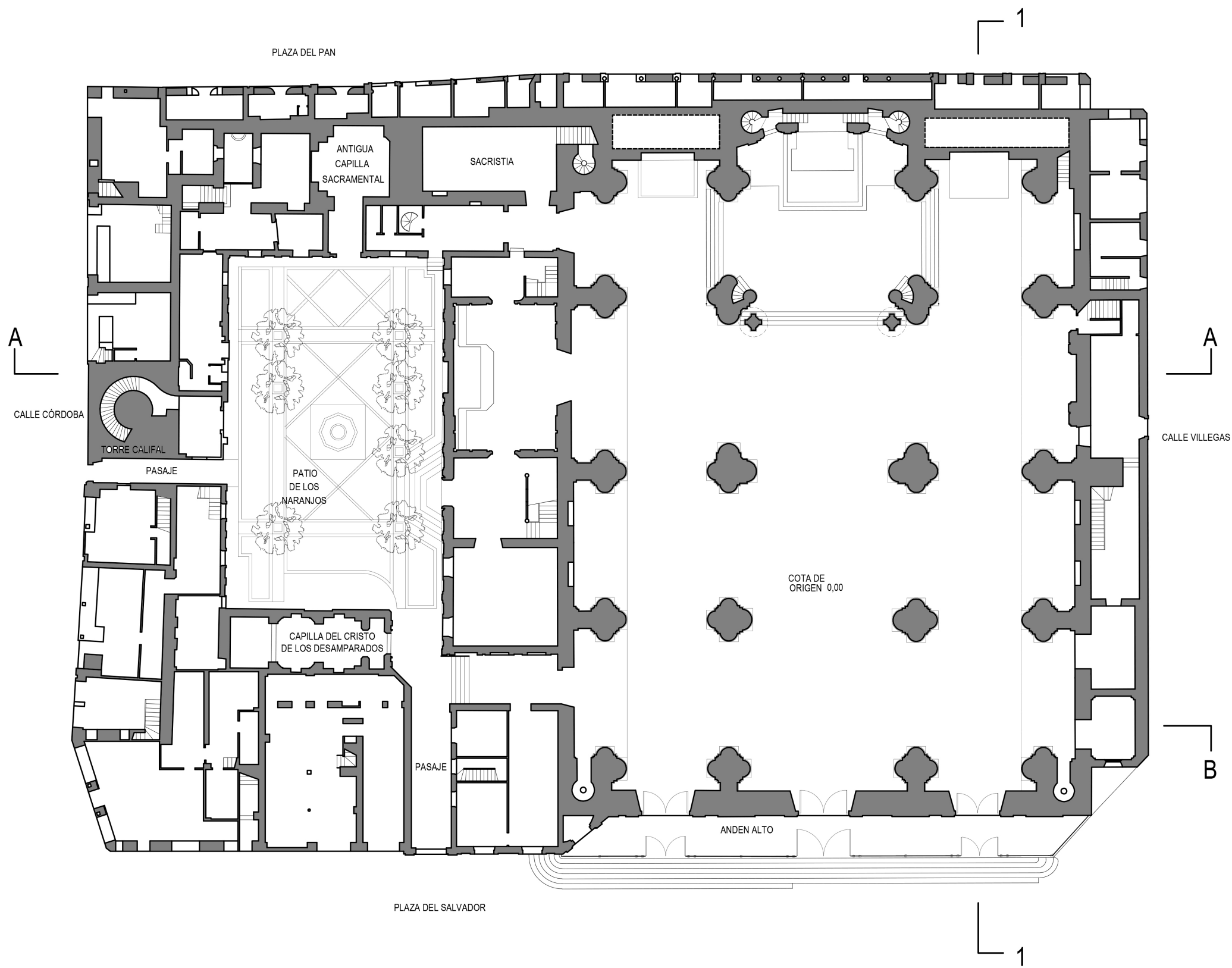
-Mortero hidrófugo:

SikaMur®

<https://esp.sika.com/es/refurbishment-redirect/sika-refurbishment-solutions/02a002/02a002sa99/02a002sa99200/02a002sa99210.html>

6. ANEXOS

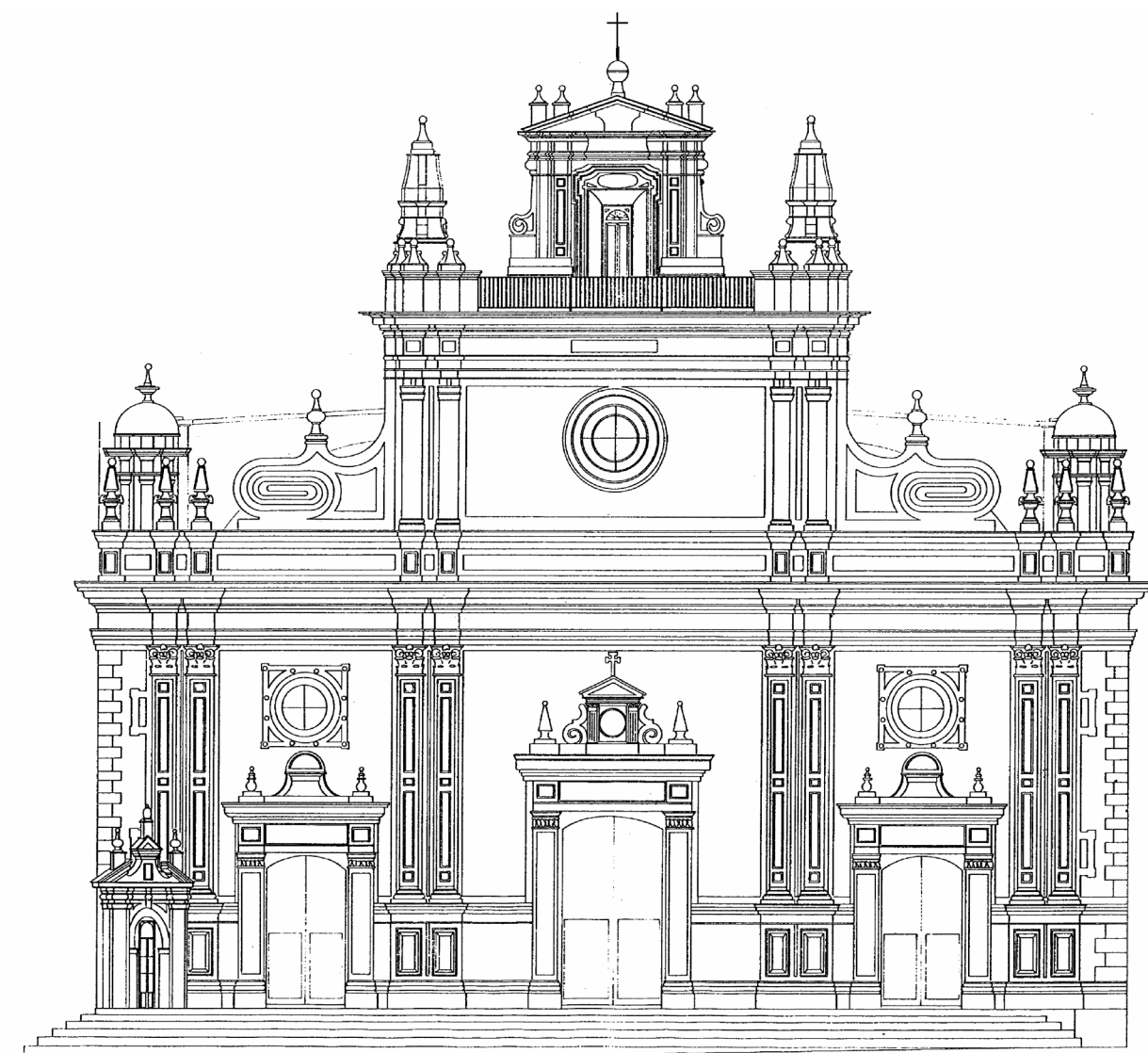
6.1. PLANIMETRÍA



PLANTA BAJA. (COTA 0.00). 1:300



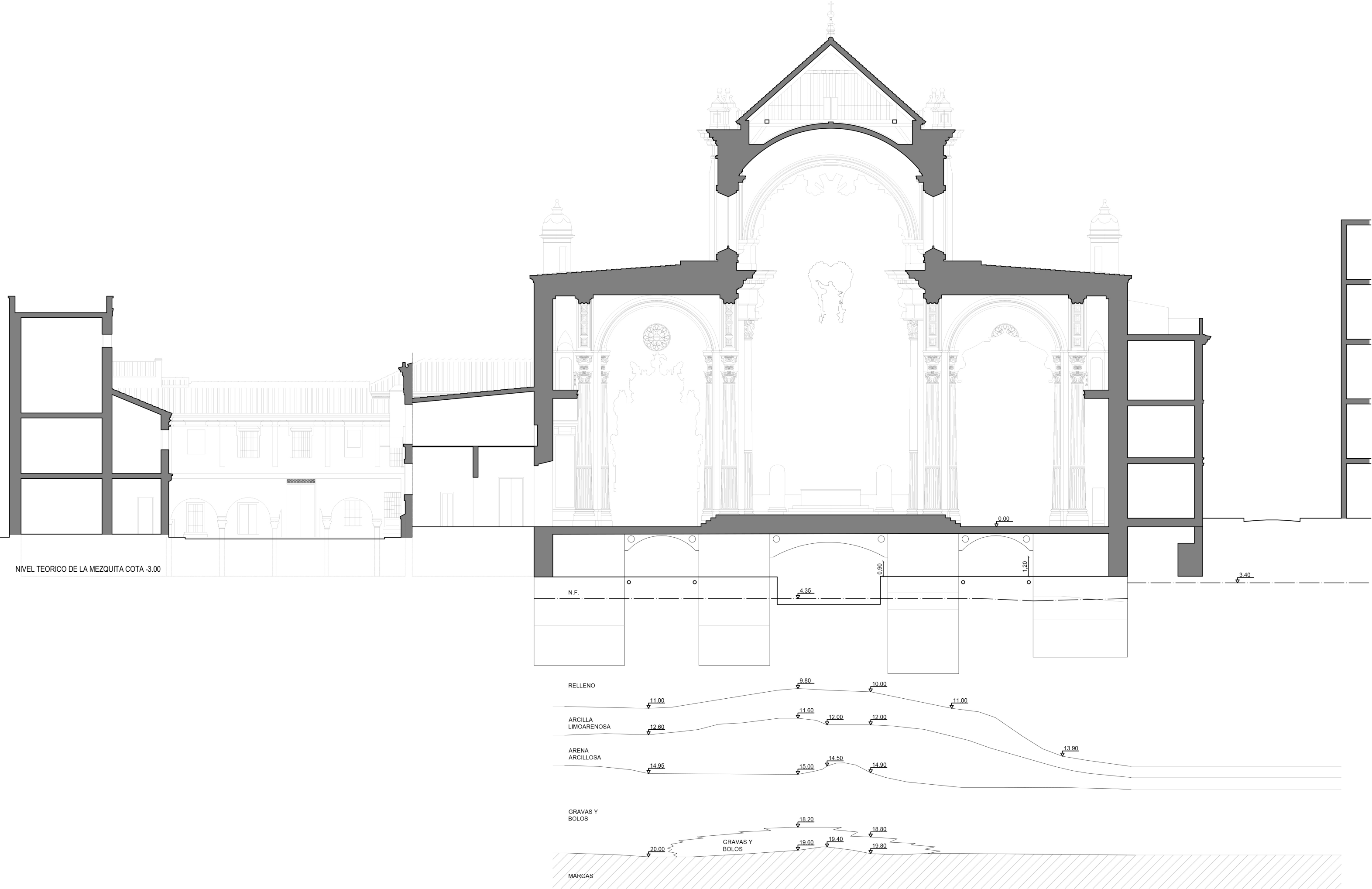
PLANO SITUACIÓN. 1:2000

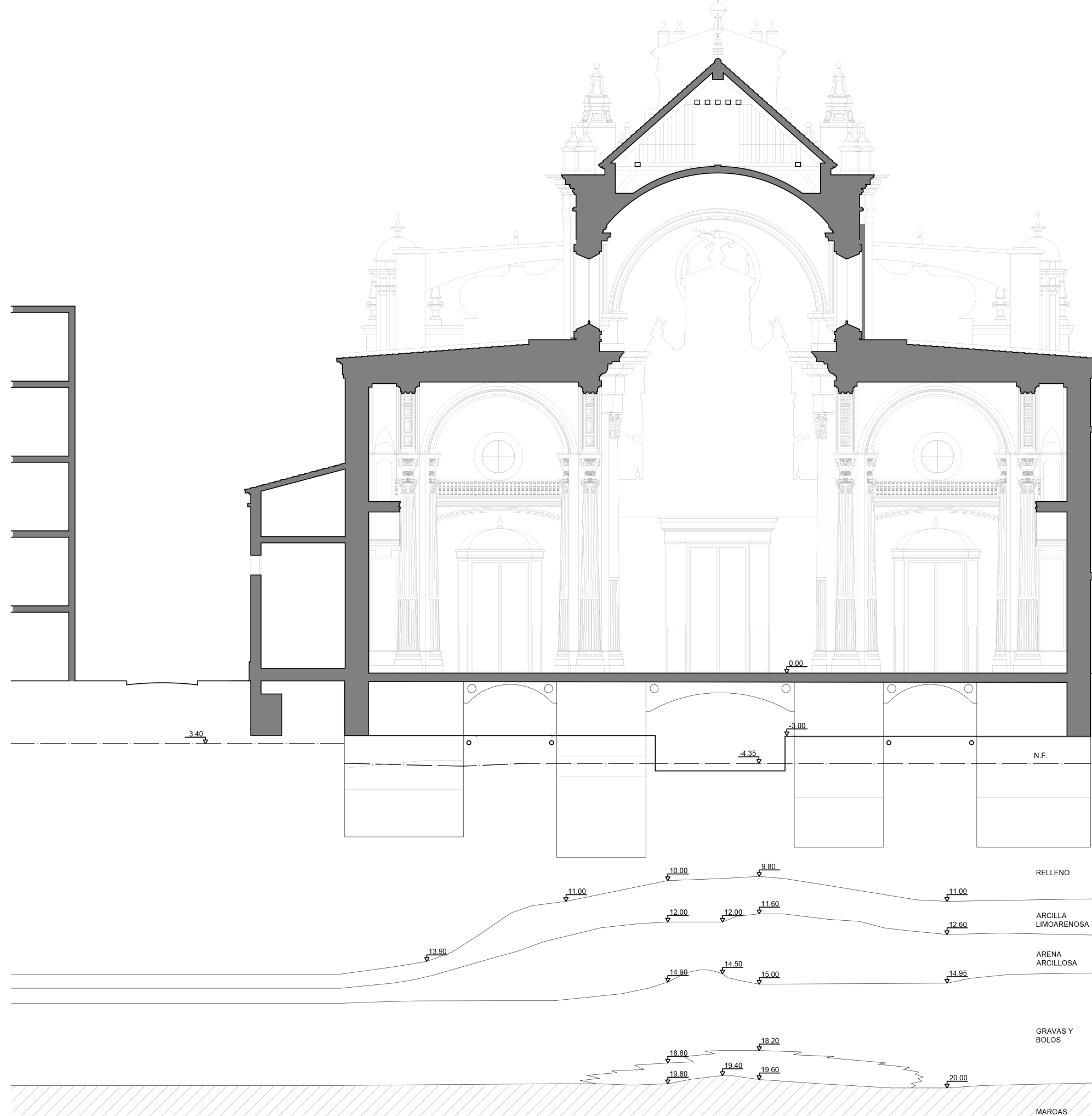


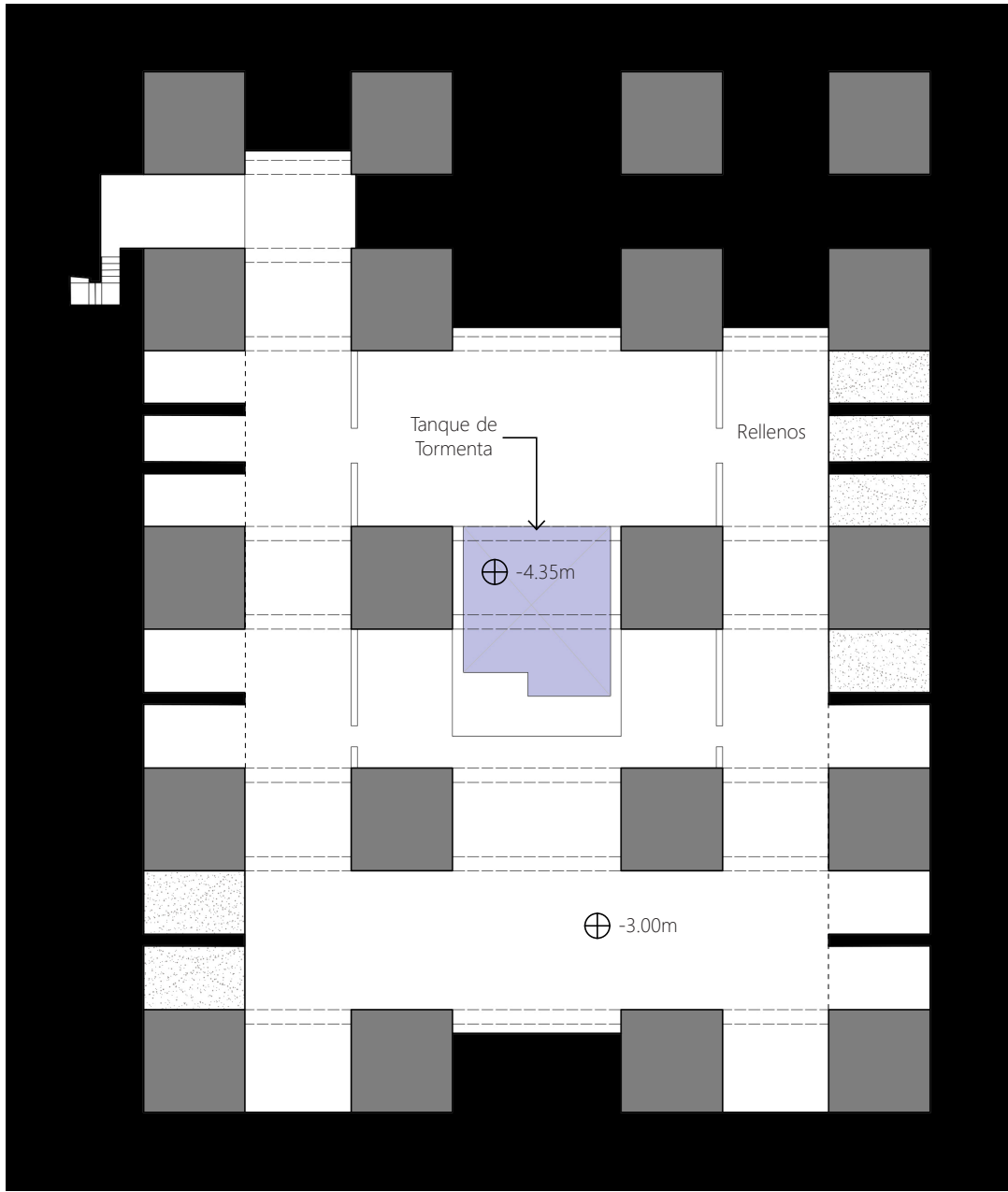
ALZADO. FACHADA PRINCIPAL. PLAZA DEL SALVADOR



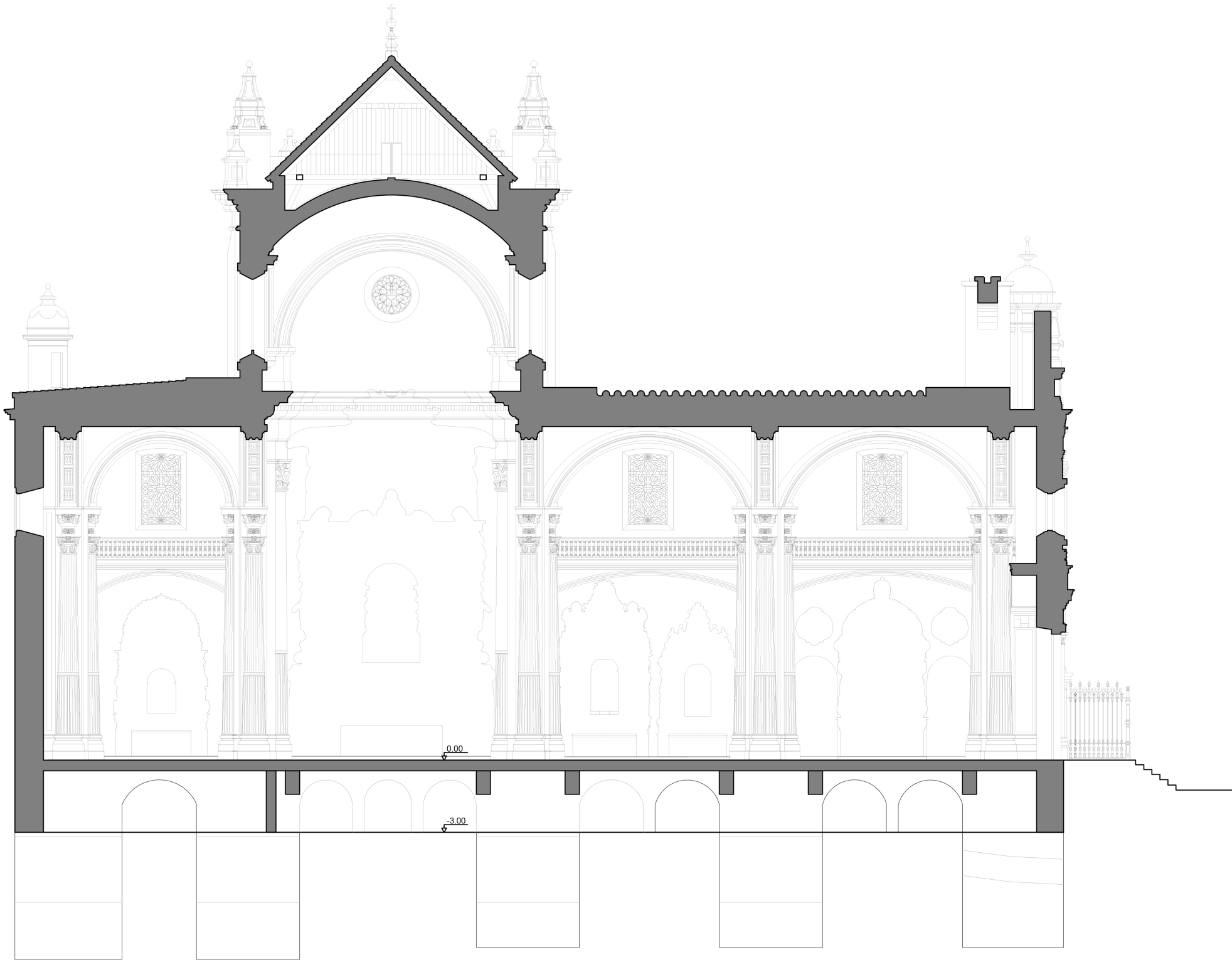
ALZADO. FACHADA PRINCIPAL. C/ VILLEGAS



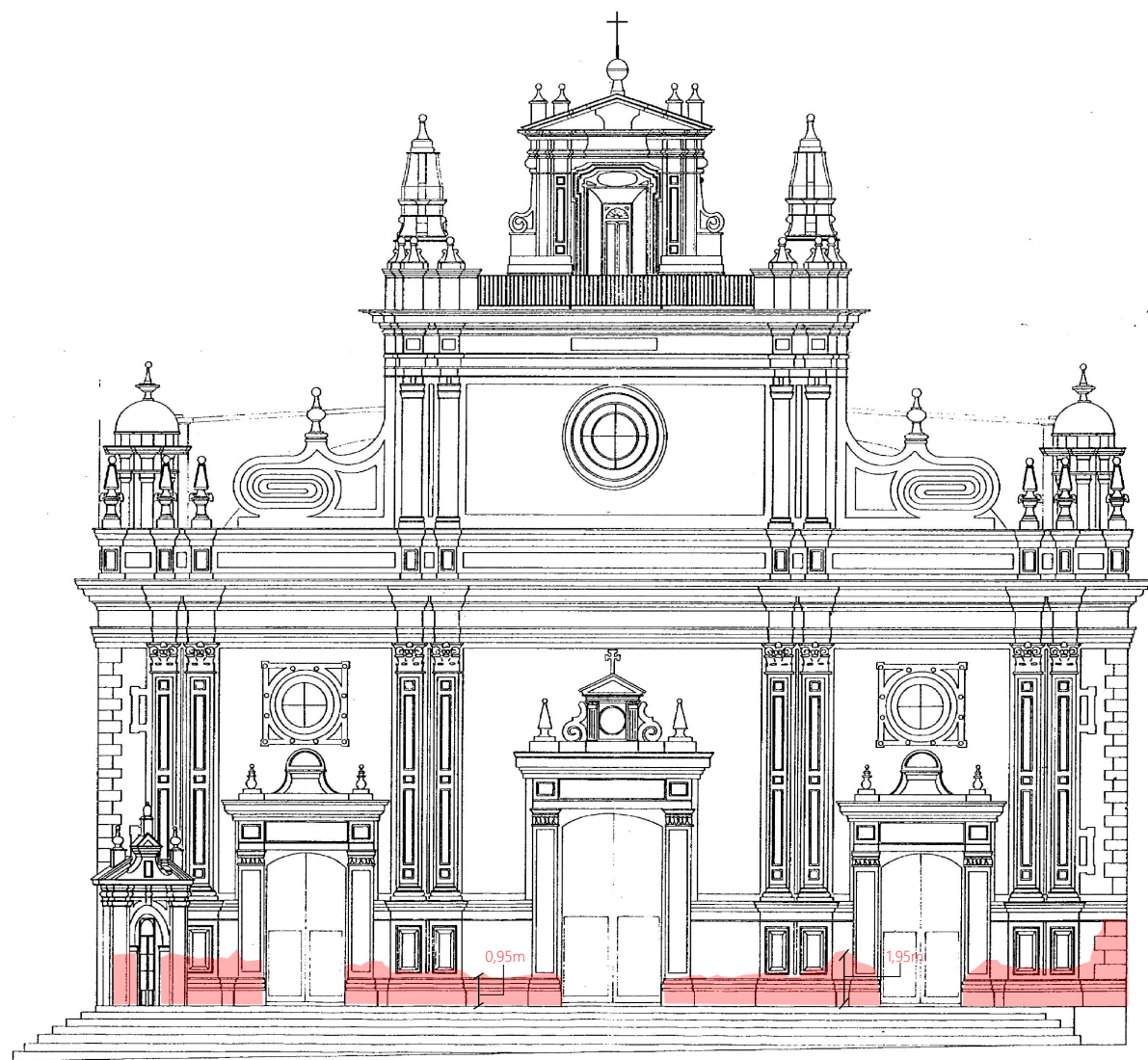




PLANTA CRIPTA. (COTA -3.00m). 1:300 ⊕



SECCIÓN 1. 1:200

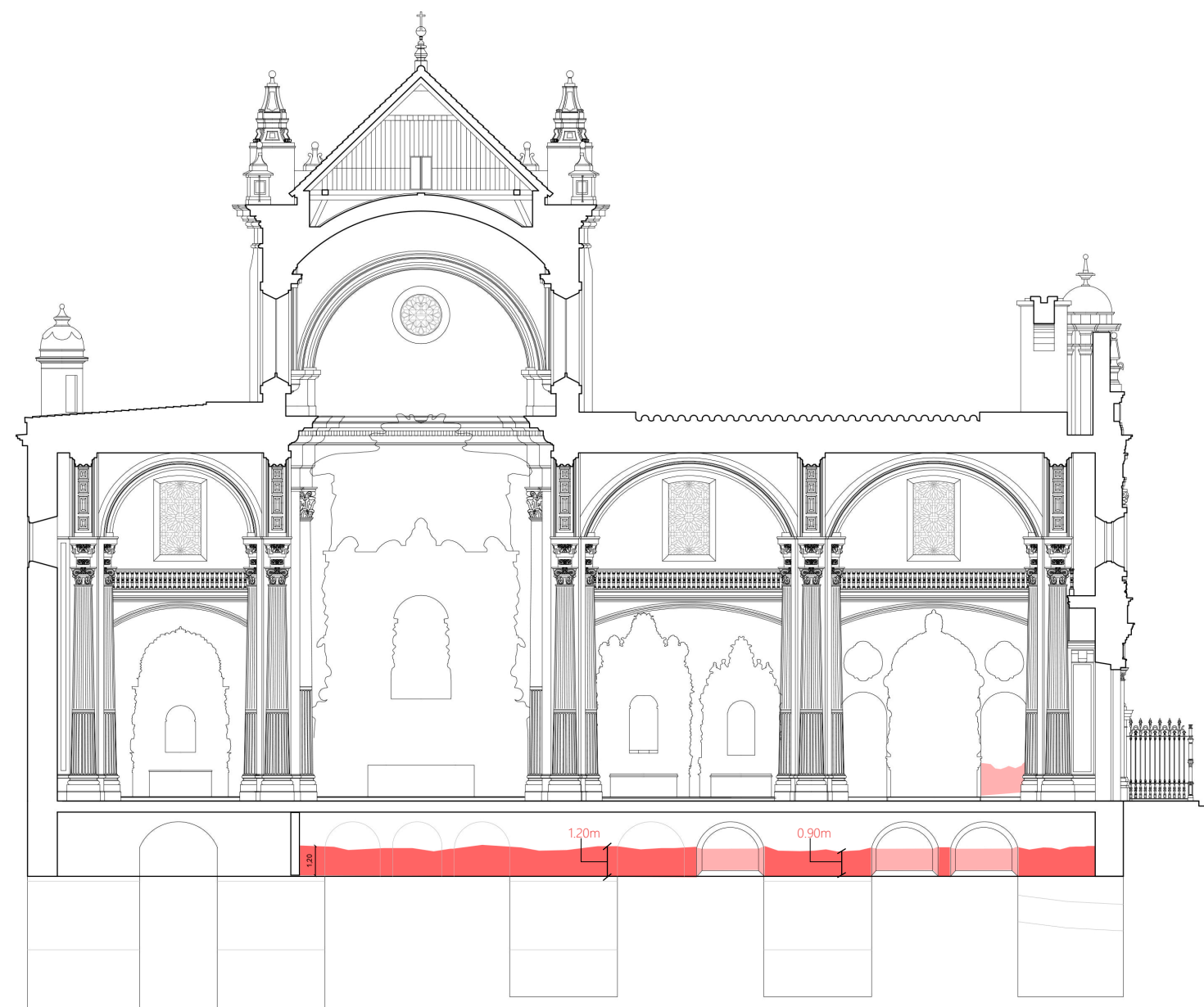


ALZADO. FACHADA PRINCIPAL. PLAZA DEL SALVADOR

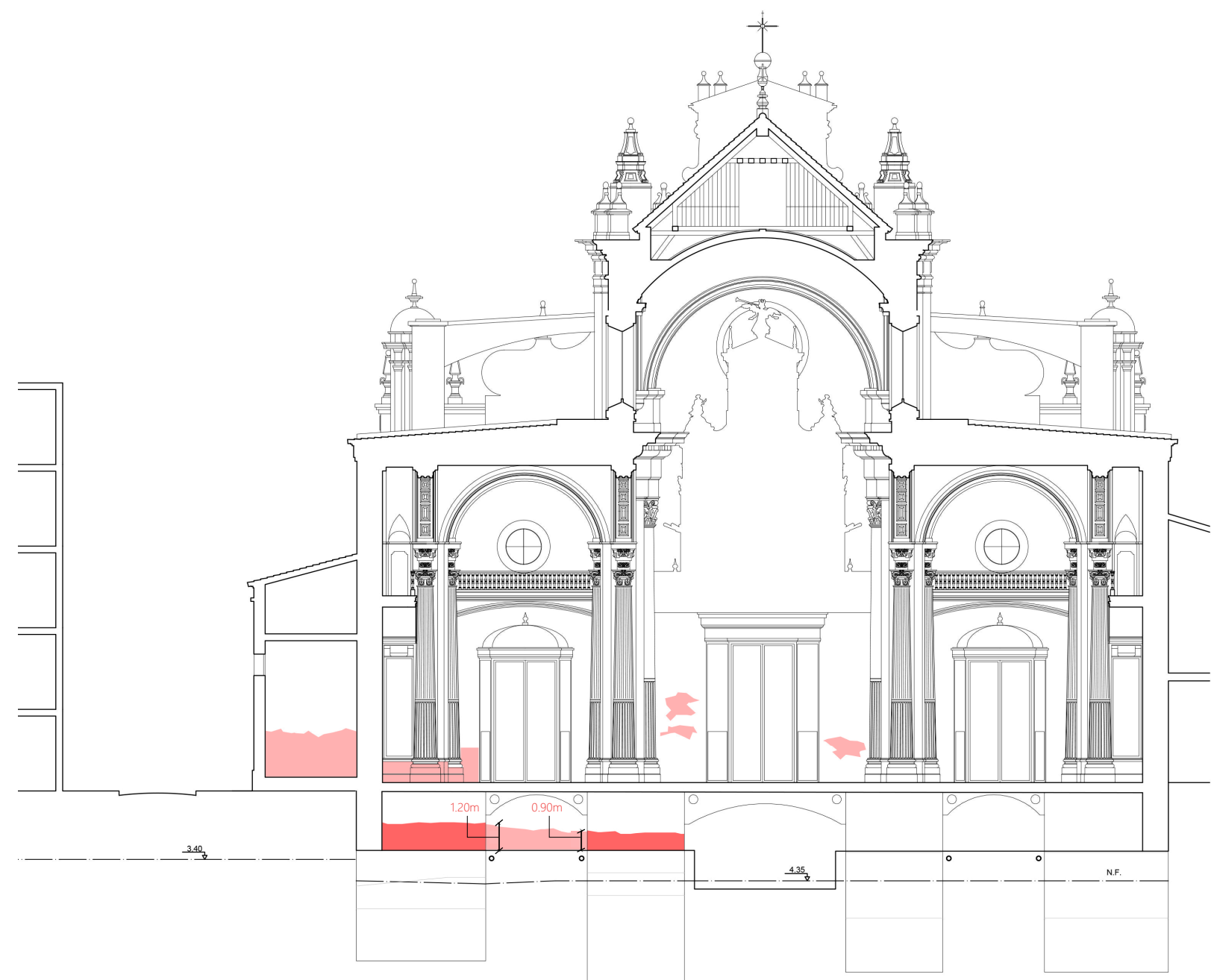


ALZADO. FACHADA PRINCIPAL. C/ VILLEGAS

 Manchas de Humedad

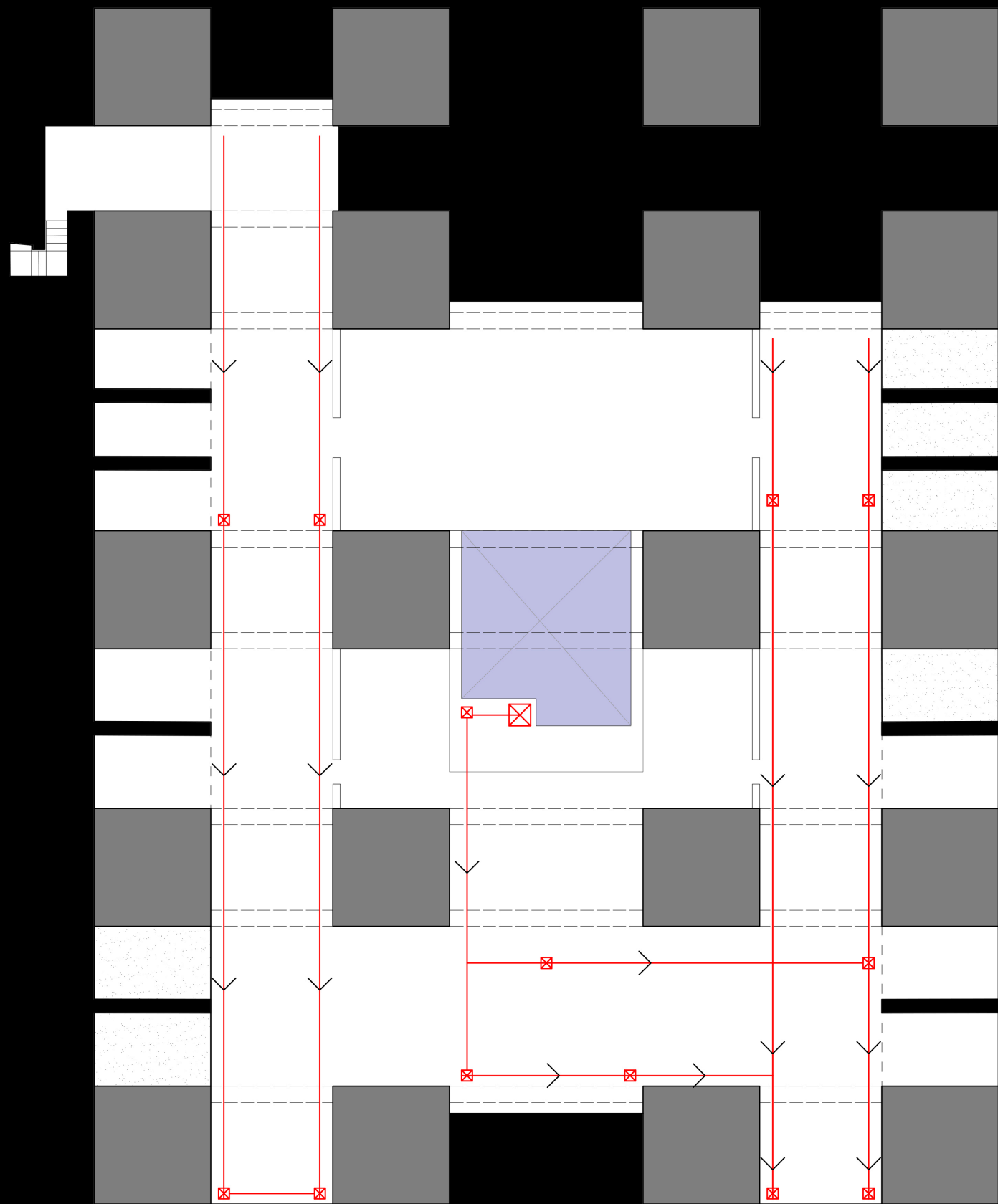


SECCIÓN 1. ALZADO INTERIOR SUR



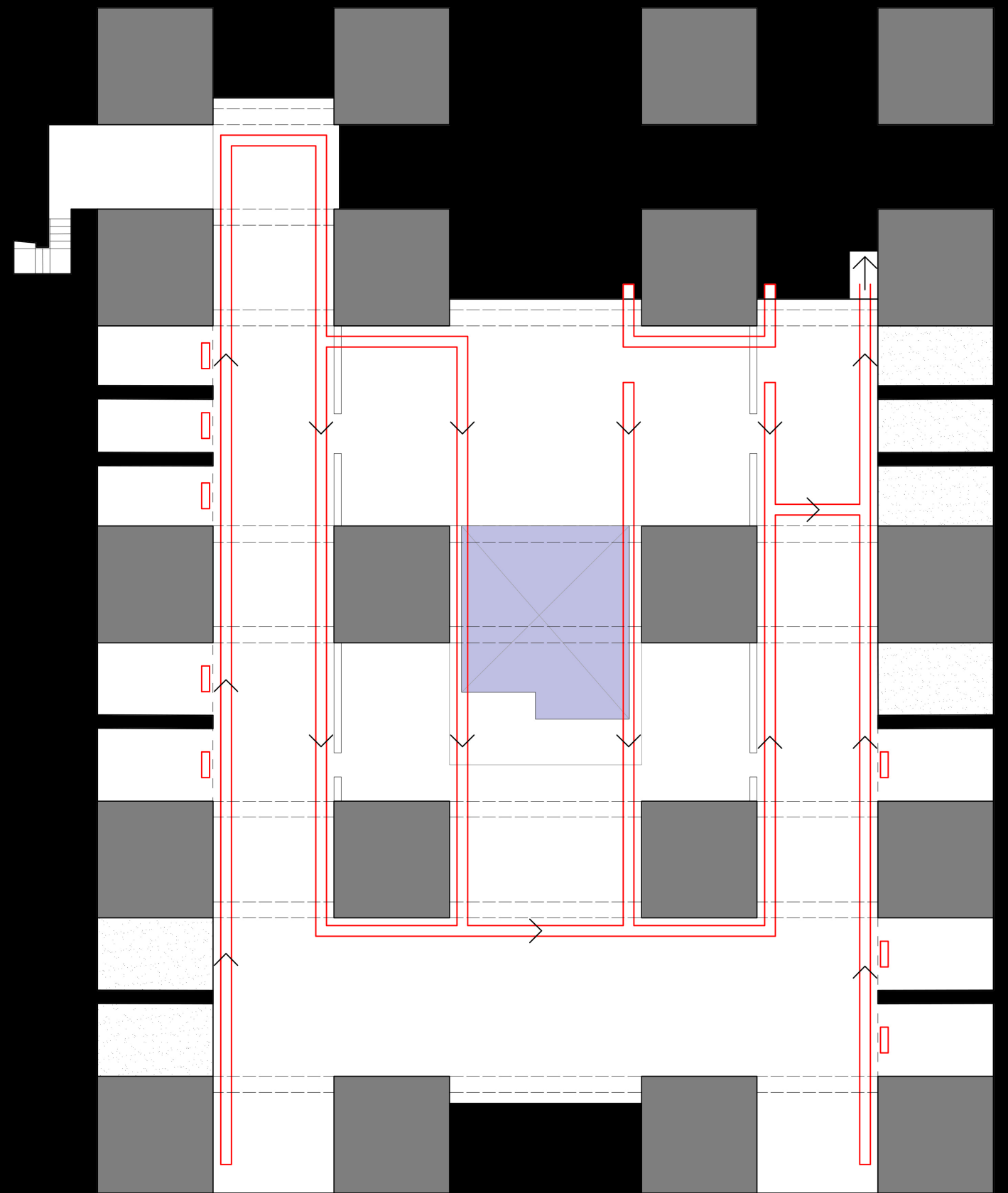
SECCIÓN B. ALZADO INTERIOR DE FACHADA PRINCIPAL





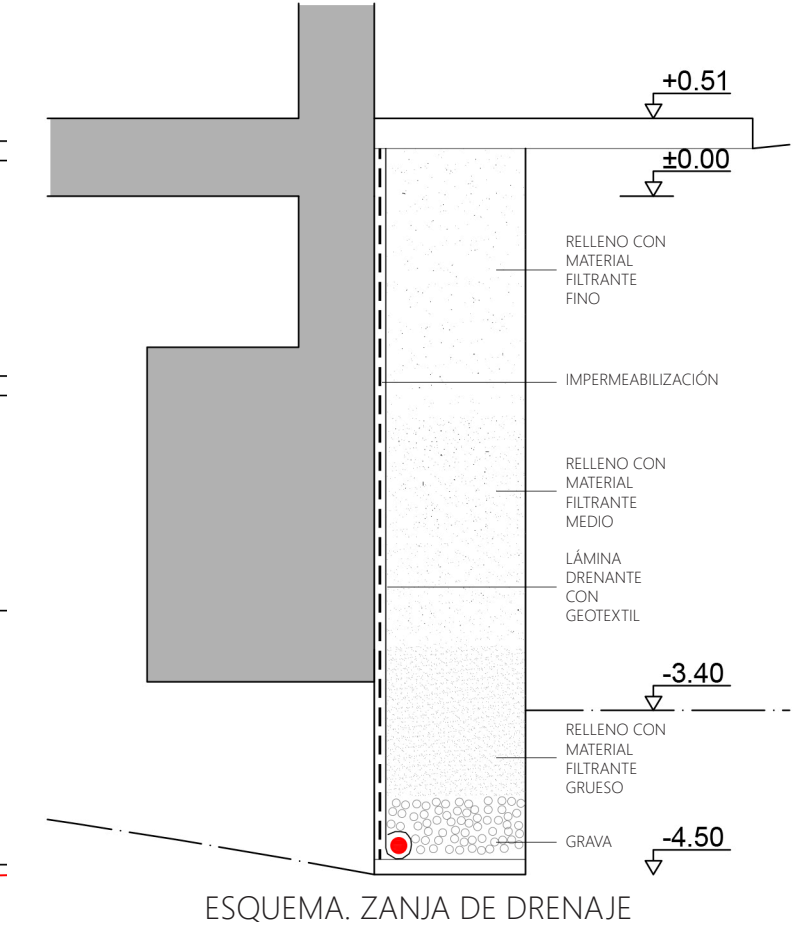
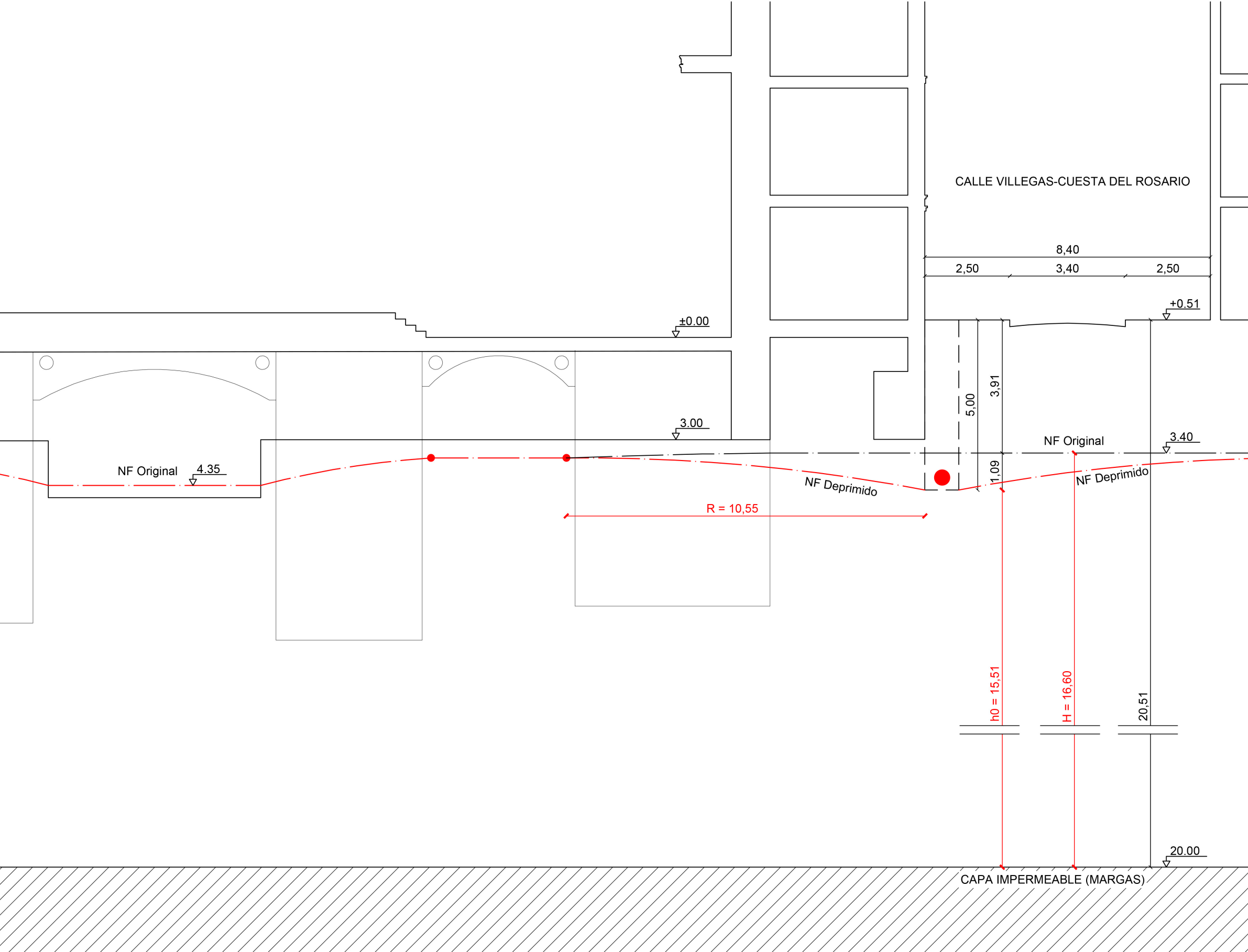
CRIPTA. ESQUEMA DRENAJE ENTERRADO ACTUAL

-  Bomba de extracción
-  Arqueta de Registro
-  Trazado de Línea de Drenaje Enterrado

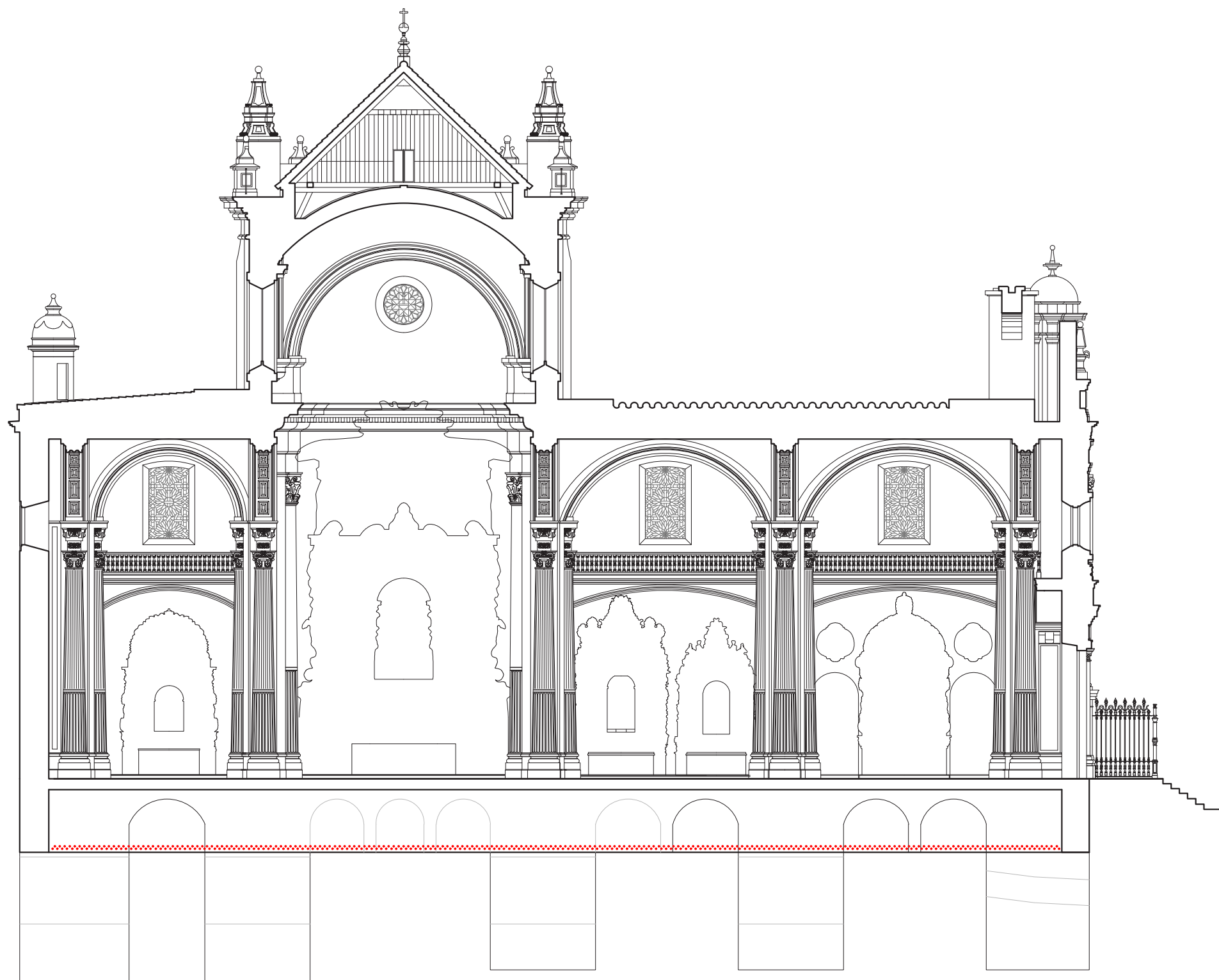


CRIPTA. ESQUEMA VENTILACIÓN ACTUAL

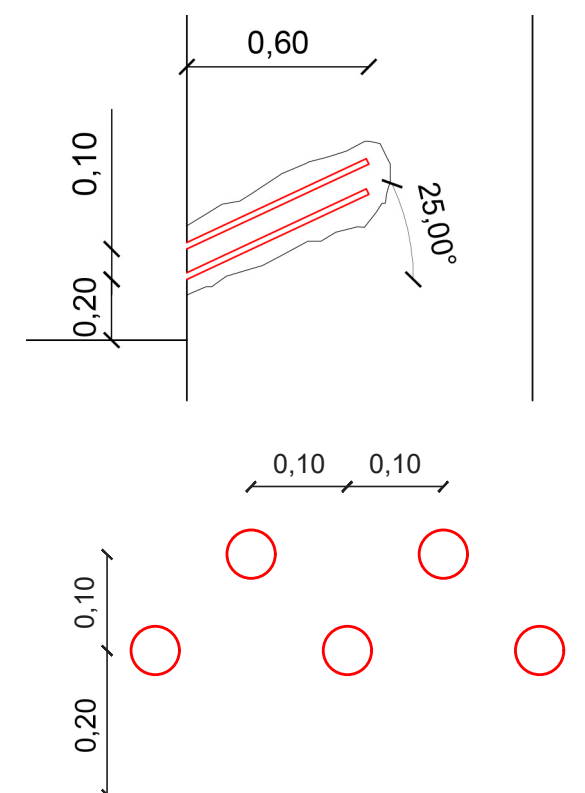
-  Conductos de Extracción Colgados
-  Rejillas de Impulsión en clave de bóvedas



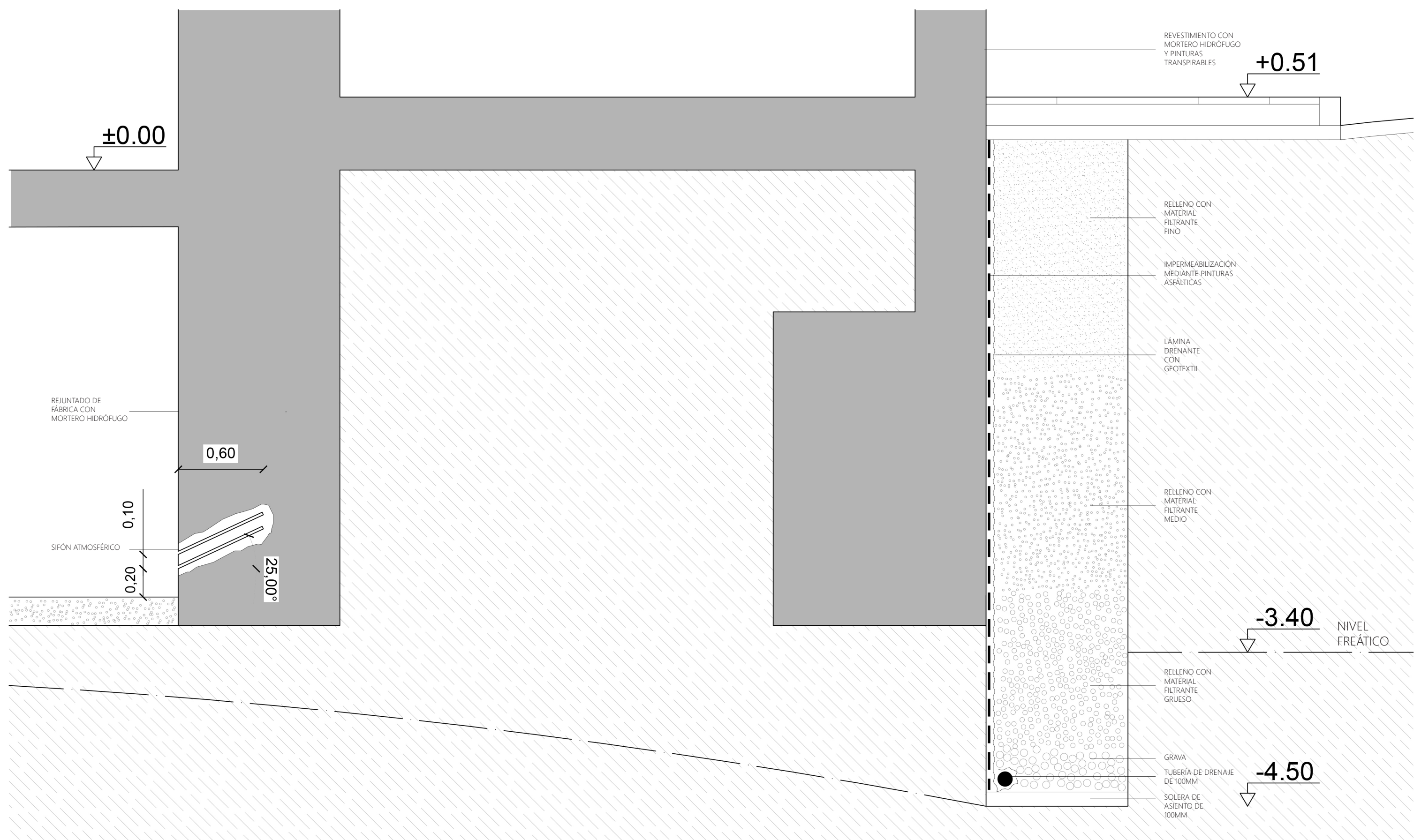
ESQUEMA. REBAJAMIENTO NIVEL FREÁTICO



ALZADO INTERIOR SUR. DISTRIBUCIÓN DE SIFONES ATMOSFÉRICOS. 1:300



ESQUEMA. DISPOSICIÓN DE SIFONES



ESQUEMA DE REPARACIÓN DE HUMEDADES DE CAPILARIDAD. 1:25

6.2. PRESUPUESTO Y MEDICIONES DE LA REPARACIÓN

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 DEMOLICIONES									
01.1	m3 EXCAVACIÓN DE ZANJA								
Excavación de zanjas para cimentaciones hasta una profundidad de 5 m, en suelo de arena arcillo- sa, con medios mecánicos, bajo nivel freático, y carga a camión. Incluso transporte de materiales excavados a vertedero y utilización de bombas para bajar el nivel freático del terreno y poder traba- jar en seco durante las labores de excavación y tablonés, cabeceros y codales de madera para apuntalamiento y entibación semicujada, para una protección del 50%.. Medido volumen teórico ejecutado.									
Excavación		1	65,40	1,00	5,00	327,00			
							327,00	36,02	11.778,54
01.2	m2 ELIMINACIÓN DE REVESTIMIENTO Y SANEADO DE SOPORTE EXTERIOR								
Eliminación de enfoscado de cemento, aplicado sobre paramento vertical exterior de hasta 10 m de altura, con medios manuales, sin deteriorar la superficie soporte, que quedará al descubierto y prepa- rada para su posterior revestimiento, y carga manual sobre camión o contenedor, incluso transporte a vertedero autorizado. Medida la superficie teórica ejecutada									
Fachada Sur con revestimiento continuo		1	34,00		7,00	238,00			
							238,00	11,22	2.670,36
TOTAL CAPÍTULO 01 DEMOLICIONES									14.448,90

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 02 SISTEMA DE DRENAJE									
02.1	m MONTAJE DE TUBERÍA DE DRENAJE								
Suministro y montaje de tubería enterrada de drenaje, con una pendiente mínima del 0,50%, para captación de aguas subterráneas, de tubo ranurado de PVC de doble pared, la exterior corrugada y la interior lisa, color teja RAL 8023, con ranurado total a 360° en el valle del corrugado, para drenaje, rigidez anular nominal 4 kN/m², de 100 mm de diámetro, según UNE-EN 13476-1, longitud nominal 6 m, unión por copa con junta elástica de EPDM, colocada sobre solera de hormigón en masa HM-20/B/20/I, de 10 cm de espesor, en forma de cuna para recibir el tubo y formar las pendientes, con relleno lateral y superior hasta 25 cm por encima de la generatriz superior del tubo con grava filtrante clasificada, cuyas características y composición granulométrica cumplen lo expuesto en el art. 421 del PG-3. Incluso lubricante para montaje. El precio no incluye la excavación ni el relleno principal. Longitud de zanja medida a eje en proyección horizontal.									
Zanja drenante		1	65,40			65,40			
							65,40	21,44	1.402,18
02.2	m3 RELLENO FILTRANTE PARA ZANJA								
Formación de relleno de grava filtrante clasificada, cuyas características y composición granulométrica cumplen lo expuesto en el art. 421 del PG-3, en trasdós de muro, para facilitar el drenaje de las aguas procedentes de lluvia, con el fin de evitar encharcamientos y el sobreempuje hidrostático contra las estructuras de contención. Compuesto por 3 capas de material filtrante, extendidas y compactadas por encima de la red de drenaje, con medios mecánicos, con disminución granulométrica de cada capa respecto a la anterior, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 80% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. El precio no incluye la red de drenaje ni la realización del ensayo Proctor Modificado. Medido volumen teórico ejecutado									
Relleno		1	65,40	1,00	4,50	294,30			
							294,30	34,95	10.285,79
02.3	m2 LÁMINA DRENANTE CON GEOTEXTIL								
Drenaje de muro de sótano o estructura enterrada, por su cara exterior, con lámina drenante nodular de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE), con nódulos de 8 mm de altura, con geotextil de polipropileno incorporado, resistencia a la compresión 150 kN/m² según UNE-EN ISO 604, capacidad de drenaje 5 l/(s·m) y masa nominal 0,7 kg/m², sujeta al muro previamente impermeabilizado mediante fijaciones mecánicas, y rematado superiormente con perfil metálico, envolviendo tubería de drenaje. Medida la superficie teórica ejecutada									
Lámina drenante		1	65,40		5,00	327,00			
							327,00	11,05	3.613,35
02.4	m2 IMPERMEABILIZACIÓN POR EXTERIOR DE MURO CON PINTURAS ASFÁLTICAS								
Impermeabilización de muro de sótano o estructura enterrada, por su cara exterior, con emulsión bituminosa aniónica monocomponente, a base de betunes y resinas, aplicada en dos manos, con un rendimiento de 1 kg/m² por mano. Medida la superficie teórica ejecutada									
Pintura impermeabilizante		1	65,40		5,00	327,00			
							327,00	8,24	2.694,48
TOTAL CAPÍTULO 02 SISTEMA DE DRENAJE									17.995,80

PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 03 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS									
03.1	m DESECACIÓN DE MURO CON HIGROCONVECTORES								
	Higroconvectores de cerámica porosa para desecamiento de muros método Knapen, formado por tubo de cerámica prismático, provisto de un canal interior estriado de 30 mm de diámetro y 30 cm de largo, alojado en alveolo realizado en sentido perpendicular empotrado en muro, colocado en perforaciones de 50, 60 y 70 mm de diámetro, relleno de perforaciones con sílice según diámetro, provisto de rejillas triangulares o circulares de aleación zamak o nylon, acoplados con mortero de cemento, incluido ayudas de albañilería y ensayos. 10 unidades por metro lineal de muro, dispuestos en dos filas al trespelillo, a una distancia horizontal entre elementos de 20cm y distancia vertical entre filas de 10cm y 20 cm por encima del suelo. Medido en proyección horizontal.								
	Higroconvectores	1	41,90				41,90		
							41,90	146,77	6.149,66
03.2	m2 TRATAMIENTO DE HUMEDADES CON MORTERO HIDRÓFUGO								
	Tratamiento de humedades por capilaridad en muros, con mortero hidrófugo de renovación de alta porosidad, de 20 mm de espesor medio, aplicado en una capa con paleta y acabado fratasado, incluso acabado con pintura elástica transpirable color similar al resto del edificio. Medida la superficie teórica de fachada.								
	Fachada Sur con revestimiento continuo	1	34,00		7,00	238,00			
							238,00	28,85	6.866,30
03.3	m2 IMPERMEAB. INTERIOR DE MURO EN CONTACTO CON TERRENO CON MORTERO								
	Impermeabilización de la cara interior de muro de sótano de fábrica de ladrillo mediante mortero hidrófugo flexible bicomponente, transpirable al vapor de agua, color gris, aplicado en juntas entre ladrillos, incluso rehundido de junta de 40mm y limpieza previa ejecución del mortero. Medida la superficie teórica de la cara interior del muro.								
	Interior Muro en contacto con terreno	1	41,90		3,00	125,70			
							125,70	15,07	1.894,30
TOTAL CAPÍTULO 03 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS.....									14.910,26
TOTAL.....									47.354,96

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
01	DEMOLICIONES.....	14.448,90	30,51
02	SISTEMA DE DRENAJE	17.995,80	38,00
03	SISTEMAS COMPLEMENTARIOS	14.910,26	31,49
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL		47.354,96	
13,00 % Gastos generales.....		6.156,14	
6,00 % Beneficio industrial		2.841,30	
SUMA DE G.G. y B.I.		8.997,44	
16,00 % I.V.A.		9.016,38	
TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA		65.368,78	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		65.368,78	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de SESENTA Y CINCO MIL TRESCIENTOS SESENTA Y OCHO EUROS con SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS

, a 28 de junio de 2018.

El promotor

La dirección facultativa

